

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

PCT/JP03/16015

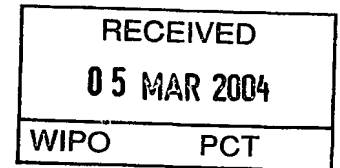
15.12.03

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日
Date of Application: 2003年 6月19日

出願番号
Application Number: 特願2003-174927
[ST. 10/C]: [J.P.2003-174927]



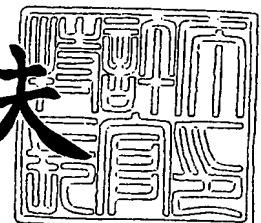
出願人
Applicant(s): 日本板硝子株式会社
株式会社 ナノスコープ

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

2004年 2月19日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今井康夫



【書類名】 特許願

【整理番号】 P03030

【提出日】 平成15年 6月19日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G01N 21/00

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府大阪市中央区北浜4丁目7番28号 日本板硝子株式会社内

【氏名】 三宅 淳司

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府大阪市中央区北浜4丁目7番28号 日本板硝子株式会社内

【氏名】 吉村 勇気

【発明者】

【住所又は居所】 京都府京都市伏見区竹田浄菩提院町301番地 有限会社ナノスコープ内

【氏名】 平岡 邦廣

【特許出願人】

【識別番号】 000004008

【氏名又は名称】 日本板硝子株式会社

【特許出願人】

【識別番号】 503011468

【氏名又は名称】 有限会社ナノスコープ

【代理人】

【識別番号】 100086645

【弁理士】

【氏名又は名称】 岩佐 義幸

【電話番号】 03-3861-9711

【先の出願に基づく優先権主張】

【出願番号】 特願2002-381004

【出願日】 平成14年12月27日

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 000435

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9113607

【包括委任状番号】 0300890

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 板状体の光学的歪みを評価する装置および方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

透明板状体が有する屈折力の不均一性によって透明板状体を透過する光が光学的に歪む量を評価する装置であって、

一定ピッチ一定幅の明部と暗部とが配列されたグリッドパターンを照射する手段と、

撮像装置を使って前記グリッドパターンを撮像する手段と、

前記撮像装置からの信号をグレー画像データとして入力する手段と、

前記グリッドパターンから前記撮像装置までの光路内を、前記透明板状体を支持して搬送する手段と、

前記撮像装置から入力されたグレー画像データを処理する画像処理手段とを備え、

前記グリッドパターンを前記撮像装置上に撮像するに当たり、 n 個のグリッドに対して $Xn \pm \alpha$ 個の CCD 画素を対応させることにより α 個のモアレ縞を生じせしめ、

前記画像処理手段は、

前記モアレ縞の画像データから、 90° ずつ位相のずれた複数種類の正弦波を演算する手段と、

前記複数種類の正弦波から各画素における位相角度を求める手段と、

各画素間の位相角度の差から光学的歪みの屈折力を算出する手段とを有することを特徴とする光学的歪みを評価する装置。

【請求項 2】

光沢のある板状体の表面平坦度の不均一性によって前記板状体で反射する光が光学的に歪む量を評価する装置であって、

一定ピッチ一定幅の明部と暗部とが配列されたグリッドパターンを照射する手段と、

撮像装置を使って前記グリッドパターンの反射像を撮像する手段と、

前記撮像装置からの信号をグレー画像データとして入力する手段と、
前記グリッドパターンからの光が前記光沢のある板状体で反射し前記撮像装置に入光するように、前記板状体を支持して搬送する手段と、

前記撮像装置から入力されたグレー画像データを処理する画像処理手段とを備え、

前記グリッドパターンを前記撮像装置上に撮像するに当たり、 n 個のグリッドに対して $Xn \pm \alpha$ 個の CCD 画素を対応させることにより α 個のモアレ縞を生じせしめ、

前記画像処理手段は、

前記モアレ縞の画像データから、 90° ずつ位相のずれた複数種類の正弦波を演算する手段と、

前記複数種類の正弦波から各画素における位相角度を求める手段と、

各画素間の位相角度の差から反射光のずれ量を算出する手段とを有することを特徴とする光学的歪みを評価する装置。

【請求項 3】

前記 X は、

$X = 4p$ (p は 1 以上の整数) であることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の光学的歪みを評価する装置。

【請求項 4】

透明板状体が有する屈折力の不均一性によって透明板状体を透過する光が光学的に歪む量を評価する方法であって、

一定ピッチ一定幅の明部と暗部とが配列されたグリッドパターンを撮像装置を使って撮像し、前記グリッドパターンを前記撮像装置上に撮像するに当たり、 n 個のグリッドに対して $Xn \pm \alpha$ 個の CCD 画素を対応させることにより α 個のモアレ縞を生じせしめる工程と、

前記透明板状体を間に介して前記撮像装置によって撮像された前記グリッドパターンのグレー画像データを画像処理手段が処理する工程とを含み、

前記画像処理手段が処理する工程は、

前記モアレ縞の画像データから、 90° ずつ位相のずれた複数種類の正弦波を

演算する工程と、

前記複数種類の正弦波から各画素における位相角度を求める工程と、

各画素間の位相角度の差から光学的歪みの屈折力を算出する工程とを有することを特徴とする光学的歪みを評価する方法。

【請求項 5】

光沢のある板状体の表面平坦度の不均一性によって前記板状体で反射する光が光学的に歪む量を評価する方法であって、

一定ピッチ一定幅の明部と暗部とが配列されたグリッドパターンのある板状体における反射像を撮像装置を使って撮像し、前記グリッドパターンの反射象を前記撮像装置上に撮像するに当たり、 n 個のグリッドに対して $X_n \pm \alpha$ 個の CCD 画素を対応させることにより α 個のモアレ縞を生じせしめる工程と、

前記撮像装置によって撮像された前記グリッドパターンの反射象のグレー画像データを画像処理手段が処理する工程とを含み、

前記画像処理手段が処理する工程は、

前記モアレ縞の画像データから、 90° ずつ位相のずれた複数種類の正弦波を演算する工程と、

前記複数種類の正弦波から各画素における位相角度を求める工程と、

各画素間の位相角度の差から反射光のずれ量を算出する工程とを有することを特徴とする光学的歪みを評価する方法。

【請求項 6】

前記 X は、

$X = 4p$ (p は 1 以上の整数)であることを特徴とする請求項 4 または 5 に記載の光学的歪みを評価する方法。

【請求項 7】

透明板状体の光学的歪みを有する欠点を検出する装置であって、

一定ピッチ一定幅の明部と暗部とが配列されたグリッドパターンを照射する手段と、

撮像装置を使って前記グリッドパターンを撮像する手段と、

前記撮像装置からの信号をグレー画像データとして入力する手段と、

前記グリッドパターンから前記撮像装置までの光路内を、前記透明板状体を支持して搬送する手段と、

前記撮像装置から入力されたグレー画像データを処理する画像処理手段とを備え、

前記グリッドパターンを前記撮像装置上に撮像するに当たり、 n 個のグリッドに対して $Xn \pm \alpha$ 個の CCD 画素を対応させることにより α 個のモアレ縞を生じせしめ、

前記画像処理手段は、

前記モアレ縞の画像データから、 90° ずつ位相のずれた複数種類の正弦波を演算する手段と、

前記複数種類の正弦波から各画素における位相角度を求める手段と、

各画素間の位相角度の差から光学的歪みを有する欠点を検出する手段とを有することを特徴とする光学的歪みを有する欠点を検出する装置。

【請求項 8】

光沢のある板状体の表面の光学的歪みを有する欠点を検出する装置であって、一定ピッチ一定幅の明部と暗部とが配列されたグリッドパターンを照射する手段と、

撮像装置を使って前記グリッドパターンの反射像を撮像する手段と、

前記撮像装置からの信号をグレー画像データとして入力する手段と、

前記グリッドパターンからの光が前記光沢のある板状体で反射し前記撮像装置に入光するように、前記板状体を支持して搬送する手段と、

前記撮像装置から入力されたグレー画像データを処理する画像処理手段とを備え、

前記グリッドパターンを前記撮像装置上に撮像するに当たり、 n 個のグリッドに対して $Xn \pm \alpha$ 個の CCD 画素を対応させることにより α 個のモアレ縞を生じせしめ、

前記画像処理手段は、

前記モアレ縞の画像データから、 90° ずつ位相のずれた複数種類の正弦波を演算する手段と、

前記複数種類の正弦波から各画素における位相角度を求める手段と、
各画素間の位相角度の差から光学的歪みを有する欠点を検出する手段とを有することを特徴とする光学的歪みを有する欠点を検出する装置。

【請求項 9】

前記 X は、

$X = 4p$ (p は 1 以上の整数)であることを特徴とする請求項 7 または 8 に記載の光学的歪みを有する欠点を検出する装置。

【請求項 10】

透明板状体の光学的歪みを有する欠点を検出する方法であって、

一定ピッチ一定幅の明部と暗部とが配列されたグリッドパターンを撮像装置を使って撮像し、前記グリッドパターンを前記撮像装置上に撮像するに当たり、 n 個のグリッドに対して $Xn \pm \alpha$ 個の CCD 画素を対応させることにより α 個のモアレ縞を生じせしめる工程と、

前記透明板状体を間に介して前記撮像装置によって撮像された前記グリッドパターンのグレー画像データを画像処理手段が処理する工程とを含み、

前記画像処理手段が処理する工程は、

前記モアレ縞の画像データから、 90° ずつ位相のずれた複数種類の正弦波を演算する工程と、

前記複数種類の正弦波から各画素における位相角度を求める工程と、

各画素間の位相角度の差から光学的歪みを有する欠点を検出する工程とを有することを特徴とする光学的歪みを有する欠点を検出する方法。

【請求項 11】

光沢のある板状体の表面の光学的歪みを有する欠点を検出する方法であって、

一定ピッチ一定幅の明部と暗部とが配列されたグリッドパターンの前記光沢のある板状体における反射像を撮像装置を使って撮像し、前記グリッドパターンの反射象を前記撮像装置上に撮像するに当たり、 n 個のグリッドに対して $Xn \pm \alpha$ 個の CCD 画素を対応させることにより α 個のモアレ縞を生じせしめる工程と、

前記撮像装置によって撮像された前記グリッドパターンの反射象のグレー画像データを画像処理手段が処理する工程とを含み、

前記画像処理手段が処理する工程は、
前記モアレ縞の画像データから、 90° ずつ位相のずれた複数種類の正弦波を演算する工程と、
前記複数種類の正弦波から各画素における位相角度を求める工程と、
各画素間の位相角度の差から光学的歪みを有する欠点を検出する工程とを有することを特徴とする光学的歪みを有する欠点を検出する方法。

【請求項 12】

前記 X は、
 $X = 4p$ (p は 1 以上の整数) であることを特徴とする請求項 10 または 11 に記載の光学的歪みを有する欠点を検出する方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、ガラス板等の透明板状体に存在する欠点による透過光の光学的歪み、あるいは光沢のある板状体の表面平坦度の不均一性による反射光の光学的歪みを検出し、評価する装置および方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

透明板、例えばガラス板に存在する欠点には、表面に存在する凹凸、表面に落下した異物による欠点である落下異物、落下異物跡に存在するクレータ状の凹凸、内部に存在する異物、泡等がある。また、表面に透明膜が被覆されたガラス板の場合、透明膜の欠点には、ピンホールなどがある。これら欠点が光学歪みを伴うと、光学歪みにより光が屈折する。このため、光学歪みを伴うガラス板等は、光学基板として欠陥品となり利用できないため検査により除く必要がある。

【0003】

特許文献 1 では、グリッドパターンをラインセンサカメラで撮像し焦点をグリッドパターン上から故意に外すことにより、明部と暗部の差が出ないようにして画像として灰色になるようにし、透明板状体が有する屈折力によって焦点位置が変化し結果として明部と暗部の差が出るようにして欠点を検出する方法が記載さ

れている。しかしながら、この方法では、透明板状体が有する屈折力を定量的に例えばレンズパワーの単位：ディオプターで計測することはできない。

【0004】

これに対して、特許文献2では、グリッドパターンをラインセンサカメラで撮像するに当たり、グリッドに対応するCCDの数をグリッドの丁度整数倍にして光学的歪みを定量的に検出する方法が記載されている。しかしこの方法では、正確に整数倍にするためにピッチおよび幅が正確なグリッドと、テレセントリックレンズなどの視野角のどの位置でも各画素に対応するグリッドパターン上での幅が変化しないレンズを使う必要がある。

【0005】

一方、特許文献3においては、縞走査法によって生体の表面部の3次元形状を測定する方法が開示されている。

【0006】

【特許文献1】

特開平8-220021号公報

【特許文献2】

特表2001-502799号公報

【特許文献3】

特開平4-98111号公報

【0007】

【発明が解決しようとする課題】

本発明の目的は、グリッドパターンとこれを撮像する画素との干渉によって発生するモアレ縞を用いる光学的歪みの評価装置および方法において、グリッドパターン像内の各グリッドのピッチおよび幅の高度な均一性を要求せずに精度の高い検出を行うことができる光学的歪みの評価装置および方法を提供することである。

【0008】

また、本発明の他の目的は、グリッドパターンとこれを撮像する画素との干渉によるモアレ縞を用いる光学的歪みの評価装置を、安価なシステム構成によって

提供することである。

【0009】

【課題を解決するための手段】

そこで、本発明では、 $X = 4p$ (p は 1 以上の整数) とし、 n および α を 1 以上の整数とし、 n 個のグリッド (明部と暗部とのペア) に対して $Xn \pm \alpha$ 個の画素を対応させるようにした。

【0010】

具体的には、一定ピッチ一定幅の明部と暗部とが一方向に交互に繰り返されるグリッドパターンを、グリッドパターンの配列方向と同方向に複数の画素が配列されたラインセンサカメラを用いて撮像するに当たり、グリッドパターンに含まれる n 個のグリッド (明部と暗部とのペア) に対して $Xn \pm \alpha$ 個の画素を対応させるようにした。ここにおいて、それぞれのグリッドについては、それぞれがおおよそ $X \pm \alpha / n$ 個から成る画素のセットが順次対応する。

【0011】

また、 $Y = 4p$ (p は 1 以上の整数) とし、 m および β を 1 以上の整数とし、明部と暗部とがチェッカー模様状に交互に繰り返されるグリッドパターンを、マトリックスカメラを用いて撮像するに当たり、グリッドパターンに含まれる横方向の n 個のグリッド (明部と暗部とのペア) に対してマトリックスカメラの横方向の $Xn \pm \alpha$ 個の画素を対応させ、グリッドパターンに含まれる縦方向の m 個のグリッド (明部と暗部とのペア) に対してマトリックスカメラの縦方向の $Ym \pm \beta$ 個の画素を対応させるようにした。ここにおいて、横方向のそれぞれのグリッドについては、それぞれがおおよそ $X \pm \alpha / n$ 個から成る画素のセットが順次対応し、縦方向のそれぞれのグリッドについては、それぞれがおおよそ $Y \pm \beta / m$ 個から成る画素のセットが順次対応する。

【0012】

このようにすることにより、CCD 画素とグリッドとの対応関係がグリッド数の整数倍に対して α 分 (または β 分) ずれた状態でもロジックとして歪み量が算出できるようにしておき、グリッドパターンやレンズの精度にムラがありずれ量が徐々に変化することにも対応が可能なるようにすることにより、全体を

より安価なシステムとして構築することができる。

【0013】

具体的には、本発明は、透明板状体が有する屈折力の不均一性によって透明板状体を透過する光が光学的に歪む量を評価する装置であって、一定ピッチ一定幅の明部と暗部とが配列されたグリッドパターンを照射する手段と、撮像装置を使って前記グリッドパターンを撮像する手段と、前記撮像装置からの信号をグレー画像データとして入力する手段と、前記グリッドパターンから前記撮像装置までの光路内を、前記透明板状体を支持して搬送する手段と、前記撮像装置から入力されたグレー画像データを処理する画像処理手段とを備え、前記グリッドパターンを前記撮像装置上に撮像するに当たり、 n 個のグリッドに対して $Xn \pm \alpha$ 個の CCD 画素を対応させることにより α 個のモアレ縞を生じせしめ、前記画像処理手段は、前記モアレ縞の画像データから、 90° ずつ位相のずれた複数種類の正弦波を演算する手段と、前記複数種類の正弦波から各画素における位相角度を求める手段と、各画素間の位相角度の差から光学的歪みの屈折力を算出する手段とを有することを特徴とする。

【0014】

また、本発明は、光沢のある板状体の表面平坦度の不均一性によって前記板状体で反射する光が光学的に歪む量を評価する装置であって、一定ピッチ一定幅の明部と暗部とが配列されたグリッドパターンを照射する手段と、撮像装置を使って前記グリッドパターンの反射像を撮像する手段と、前記撮像装置からの信号をグレー画像データとして入力する手段と、前記グリッドパターンからの光が前記光沢のある板状体で反射し前記撮像装置に入光するように、前記板状体を支持して搬送する手段と、前記撮像装置から入力されたグレー画像データを処理する画像処理手段とを備え、前記グリッドパターンを前記撮像装置上に撮像するに当たり、 n 個のグリッドに対して $Xn \pm \alpha$ 個の CCD 画素を対応させることにより α 個のモアレ縞を生じせしめ、前記画像処理手段は、前記モアレ縞の画像データから、 90° ずつ位相のずれた複数種類の正弦波を演算する手段と、前記複数種類の正弦波から各画素における位相角度を求める手段と、各画素間の位相角度の差から反射光のずれ量を算出する手段とを有することを特徴とする。

【0015】

そして、本発明は、透明板状体の光学的歪みを有する欠点を検出する装置であって、一定ピッチ一定幅の明部と暗部とが配列されたグリッドパターンを照射する手段と、撮像装置を使って前記グリッドパターンを撮像する手段と、前記撮像装置からの信号をグレー画像データとして入力する手段と、前記グリッドパターンから前記撮像装置までの光路内を、前記透明板状体を支持して搬送する手段と、前記撮像装置から入力されたグレー画像データを処理する画像処理手段とを備え、前記グリッドパターンを前記撮像装置上に撮像するに当たり、 n 個のグリッドに対して $Xn \pm \alpha$ 個の CCD 画素を対応させることにより α 個のモアレ縞を生じせしめ、前記画像処理手段は、前記モアレ縞の画像データから、 90° ずつ位相のずれた複数種類の正弦波を演算する手段と、前記複数種類の正弦波から各画素における位相角度を求める手段と、各画素間の位相角度の差から光学的歪みを有する欠点を検出する手段とを有することを特徴とする。

【0016】

また、本発明は、光沢のある板状体の表面の光学的歪みを有する欠点を検出する装置であって、一定ピッチ一定幅の明部と暗部とが配列されたグリッドパターンを照射する手段と、撮像装置を使って前記グリッドパターンの反射像を撮像する手段と、前記撮像装置からの信号をグレー画像データとして入力する手段と、前記グリッドパターンからの光が前記光沢のある板状体で反射し前記撮像装置に入光するように、前記板状体を支持して搬送する手段と、前記撮像装置から入力されたグレー画像データを処理する画像処理手段とを備え、前記グリッドパターンを前記撮像装置上に撮像するに当たり、 n 個のグリッドに対して $Xn \pm \alpha$ 個の CCD 画素を対応させることにより α 個のモアレ縞を生じせしめ、前記画像処理手段は、前記モアレ縞の画像データから、 90° ずつ位相のずれた複数種類の正弦波を演算する手段と、前記複数種類の正弦波から各画素における位相角度を求める手段と、各画素間の位相角度の差から光学的歪みを有する欠点を検出する手段とを有することを特徴とする。

【0017】

さらに、上記装置の発明は、方法の発明としても成立する。また、上記発明は

、評価装置やコンピュータに所定の機能を実現させるプログラムまたはそのプログラムを記録した記録媒体としても成立する。

【0018】

なお、本明細書において、手段とは、単に物理的手段のみを意味するものではなく、その手段が有する機能をハードウェア、ソフトウェア、またはハードウェアおよびソフトウェアの組み合わせによって実現する場合も含む。そして、1つの手段が有する機能が2つ以上のハードウェア、ソフトウェアまたはハードウェアおよびソフトウェアの組み合わせにより実現されても、2つ以上の手段の機能が1つのハードウェア、ソフトウェアまたはハードウェアおよびソフトウェアの組み合わせにより実現されても良い。

【0019】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の第1の実施の形態について図面を参照して説明する。

【0020】

まず、透明板状体を透過する光が光学的に歪む量を評価するために用いられる評価装置について説明する。図1は、本発明の評価装置を示す概略構成図であり、図2は、本発明の評価装置を示す斜視図である。図1、図2に示すように、この評価装置は、グリッドパターン2と撮像手段4と画像処理手段5と表示手段6とを備えている。グリッドパターン2は、一定ピッチ一定幅の明部と暗部とを一方方向に交互に繰り返す格子である。なお、グリッドパターン2はチェッカー模様状に複数の明部と暗部が交互に形成されるようにしてもよい。グリッドパターン2はシート状または板状であって、例えば矩形形状を有する。この例では、グリッドパターン2の上面を水平に配置している。

【0021】

グリッドパターン2は光源1を有している。光源1は、例えば蛍光灯を用いることができる。光源1は、光を下方向からグリッドパターン2に照射する。光源としては蛍光灯のほかに、例えばハロゲンランプを光源とし、ハロゲンランプからの光をファイバにて導いたファイバ照明でもよい。また棒状のLED照明を用いてもよい。また、グリッドパターン自体を照明で構成してもよい。短冊状の照

明を多数並べて照明の間隔を照明の幅と同じにすることにより、複数の明部と暗部を交互に形成することも可能である。

【0022】

グリッドパターン2の上方には、検査対象物であるガラス板などの透明板状体3を搬送するための搬送手段8（例えばローラ）が設けられている。この例では、平面視において、ガラス板3の搬送方向がグリッドパターン2の配列方向と直交するようにグリッドパターン2と搬送手段8とが配置されている。

【0023】

撮像手段4は1次元走査を繰り返すラインセンサであり、例えばCCDを使用するラインセンサカメラ41とレンズ42とから構成されている。撮像手段4は搬送される透明板状体3を挟んで光源1と対向する側に配置される。そして、ラインセンサカメラの走査線がグリッドパターン2の配列方向と平行となるよう、グリッドパターン2の上面に対して垂直な方向に取り付けられ、グリッドパターン2を透過した光を視野として取り込める様に配置される。また、ラインセンサカメラ41は、走査線に沿って直線的に配置されたCCD画素を備えている。なお、ラインセンサカメラの視野は決まっているので、検査対象物の幅に合わせて、適宜設置台数を決めてもよい。

【0024】

以上のような撮像手段4とグリッドパターン2との間を、ガラス板3は搬送手段8によって水平に搬送される。ガラス板3の検査面は水平となり、搬送方向は矢印で示すように図1において例えば右方向である。ラインセンサカメラ41からのモアレ縞の画像データ出力は、グレーデータとして画像処理手段5へ入力され、画像処理手段5では、モアレ縞の画像データより90°位相のずれたA相およびB相の2種類の正弦波を演算し、A相およびB相の正弦波からリサージュ図形上の各画素における位相角度を求め、各画素間の位相角度の差から光学的歪みを有する欠点を検出し、光学的歪みの量を算出する。

【0025】

画像処理手段5としては、例えばコンピュータを利用できる。ラインセンサの出力がアナログ信号の場合は、コンピュータにはデジタル信号に変換して取り込

む必要があるので、画像処理手段 5 は、少なくともアナログ／デジタル変換機能を有する画像入力装置をさらに有することが要求される。ラインセンサカメラ 41 がデジタルカメラである場合には、アナログ／デジタル変換は不要である。

【0026】

表示手段 6 は、CRT、液晶ディスプレイ等の表示装置によって実現される。表示手段 6 は、画像処理手段 5 からの出力を表示する。なお、この評価装置は、グリッドの配列方向における欠陥の光学的歪みを検出する。

【0027】

上記の説明においては、撮像手段 4 とグリッドパターン 2 とを垂直方向に配置し、ガラス板 3 の検査面を水平に配置した。しかしながら、これらの要素の配置をこれに限るわけではない。図 3～7 に撮像手段とグリッドパターンと検査対象物との配置例を示す。

【0028】

ここで、図 3 および図 5 は、搬送方向の下流から見た評価装置の概略端面図であり、図 4 および図 6 は、搬送方向の側面から見た評価装置の概略側面図であり、図 7 は、評価装置の概略平面図である。

【0029】

配置例として、まず、撮像手段 4 とグリッドパターン 2 とを垂直方向に配置し、ガラス板 3 の検査面を水平から傾かせてもよい。この傾きは、例えば図 3 に示す a, b のいずれの方向であってもよく、あるいは図 4 に示す d, e のいずれの方向であってもよい。

【0030】

なお、撮像手段 4 およびグリッドパターン 2 と、ガラス板 3 との間の位置関係は相対的なものであるので、図 5 および図 6 に示すように、ガラス板 3 の検査面を水平に配置し、撮像手段 4 とグリッドパターン 2 とを結ぶ線を、垂直から傾かせてもよい。

【0031】

また、上記の説明においては、ガラス板 3 の搬送方向を、平面視においてグリッドパターン 2 の配列方向と直交するように設定した。しかしながら、図 7 に示

すように、ガラス板 3 の搬送方向とグリッドパターン 2 の配列方向とが、平面視において斜めに交わるように設定してもよい。

【0 0 3 2】

また、図 1 に示す評価装置においては、撮像手段 4 を装置の上側に配置し、ガラス板 3 を上方から撮像する構成を示したが、撮像手段 4 を配置する方向を様々に変化させることもできる。

【0 0 3 3】

例えば、撮像手段 4 を装置の下側に配置して、ガラス板 3 を下方から撮像してもよい。具体的には、図 1 における撮像手段 4 の位置と、グリッドパターン 2 および光源 1 の位置とを入れ替え、上方から光を照射し、下方から撮像するようにするとよい。

【0 0 3 4】

また、他の態様としては、撮像手段 4 を装置の側方に配置してもよい。例えば、ガラス板 3 を立て掛けて横搬送する場合や、いわゆるダウンドローのような縦搬送の場合には、ガラス板 3 の検査対象面が横方向を向くことになるので、これに合わせてガラス板 3 を装置の側方から撮像するとよい。このように撮像手段 4 を装置の側方に配置する場合には、グリッドパターン 2 および光源 1 を撮像手段 4 と対向する方向に配置する必要がある。

【0 0 3 5】

より具体的には、例えば図 1 における撮像手段 4 とガラス板 3 とグリッドパターン 2 と光源 1 とを、この相対的な位置関係を保ったまま水平面内の回転軸を中心として上下方向に所定角度回転させるとよい。この所定角度は、例えばガラス板 3 を垂直に立てる場合には 9 0 度である。

【0 0 3 6】

なお、ここで説明した撮像手段 4 を装置の下側に配置する態様、そして撮像手段 4 を装置の側方に配置する態様、双方の態様に対しても、図 3 ～ 7 を用いて上述した配置例を適用できる。

【0 0 3 7】

次に、図面を参照して、本発明の評価装置の他の構成例を説明する。図 8 は、

本発明の他の評価装置を示す概略構成図である。この図において、図1と共通する構成要素については同じ符号を付し詳細な説明を省略する。

【0038】

図8に示す評価装置は、光沢のある板状体の表面平坦度の不均一性を評価するために用いられるものである。上記の透明板状体を透過する光が光学的に歪む量を評価するための装置と異なる点は、光源1およびグリッドパターン2と、板状体3および搬送手段8と、撮像手段4との間の位置関係である。この例では、光源1によって照射されたグリッドパターン2の象が板状体3において反射し、このグリッドパターン2の反射象を撮像手段4が撮像するような位置関係に設定されている。

【0039】

(CCD画素とグリッドとの対応)

次に、本発明の特徴の一つであるCCD画素とグリッドとの対応関係について説明する。なお、以下の説明においては、本発明におけるCCD画素とグリッドとの対応関係を分かりやすく説明するために、便宜上2段階に分けて説明する。ここで、図9は、CCD画素とグリッドとの対応関係を説明する図である。

【0040】

(第一段階)

まず、本発明においては、1組の透光部と遮光部とを1グリッドと定義する。そして、グリッドパターン2に含まれているいずれかの1グリッドを選択し、この1グリッドについて、X個のCCD画素を対応させる。ここで、本発明の特徴は、Xが4の整数倍であることである。したがって、 $X = 4p$ (pは1以上の整数)と表すことができる。なお、本発明において透光部と遮光部とは相対的な概念であり、透光部は高い光の透過率を有し、遮光部は透光部より低い透過率を有する。このような透光部と遮光部とは、例えば透明なガラス部分と黒塗りのガラス部分とで構成することができる。

【0041】

このように所定の1グリッドに対してX個のCCD画素を対応させることは、撮像手段4とグリッドパターン2との距離を調整することによって実現できる。

すなわち、撮像手段4とグリッドパターン2との距離を小さくすれば、グリッドの光学像が拡大され、1グリッドに対応するCCD画素の数が増える。これとは反対に、撮像手段4とグリッドパターン2との距離を大きくすれば、1グリッドに対応するCCD画素の数が減る。このようにして撮像手段4とグリッドパターン2との距離を調整し、所望のX個のCCD画素が所定の1グリッドに対応するよう両者の位置関係を決定する。

【0042】

図9を用いてより具体的に説明する。なお、この図9においては、グリッドパターン2を固定とし、撮像手段4がグリッドパターン2に対向する方向に（図では上下に）可動するものとして説明する。まず、グリッドパターン2の中から任意の1グリッドを選択し、このグリッドを基準として対応するCCD画素の数を判断する。この基準となるグリッドは、幅とピッチの精度がよい部分であることが望ましい。図9に示されるように、撮像手段4が図中Aの位置にある場合には、グリッドパターン2内の基準となる1グリッドに対して画素列のうちの4個のCCD画素が対応している。この状態から撮像手段4を下降させ、グリッドパターン2に近付けると、1グリッドに対応するCCD画素の数が増えていく。そして、1グリッドに8個のCCD画素が対応する位置Bで撮像手段4の位置を設定する。このようにすることにより、1つのグリッドに8個のCCD画素を対応させることができる。

【0043】

また、1つのグリッドに12個のCCD画素を対応させる場合には、同様にして撮像手段4をさらに下降させ、撮像手段4の位置Cを設定する。なお、この図においては、便宜上撮像手段4を可動とし、グリッドパターン2を固定としたが、本発明はこれに限られず、グリッドパターン2を可動とし、撮像手段4を固定としてもよく、両者を可動としてもよい。また、このような位置合わせの方法は、図8の評価装置についても基本的に同じである。

【0044】

（第二段階）

上記のようにして、1つのグリッドにX個のCCD画素を対応させて撮像手段

4 とグリッドパターン 2 との距離を設定する。しかしながら、上記のようなグリッドと CCD 画素との対応関係にずれが発生する場合が多い。グリッドパターン 2 を構成するそれぞれのグリッドのピッチは微細である。例えば、それぞれのグリッドのピッチは、透光部 $90\text{ }\mu\text{m}$ 、遮光部 $90\text{ }\mu\text{m}$ である。加えて、CCD 画素の配列ピッチも微細である。したがって、全てのグリッドに対して正確に $4p$ 個の CCD 画素を対応させるのは困難である。加えて、グリッドパターンの精度に問題があり、グリッドのピッチが一定でない場合もあり、グリッドと画素との規則的な対応関係にずれが生じてしまう。さらに、グリッドパターンの精度が良く、グリッドパターンをガラス板などにクロムメッキしたようなものであっても、熱膨張（光源や気温の変化などによる）により、グリッドのピッチが全体にずれたり、一部だけがずれたりすることがある。このような場合にもグリッドと画素との対応関係にずれが生じてしまう。

【0045】

このようなことから、グリッドと画素との規則的な対応関係にずれが生じた場合にも、正確に透明板状体の欠点を検出できる手法が必要である。本発明は、グリッドパターンに含まれる 1 個のグリッドに対して X 個の CCD 画素を対応させる場合において、連続した n 個のグリッドにつき $\pm\alpha$ 個分の CCD 画素がずれた場合にも欠点を検出することを特徴とする。

【0046】

次に、 n 個のグリッドに対して CCD 画素が $\pm\alpha$ 個分ずれる場合を説明する。ここで、図 10 は、CCD 画素とグリッドとのずれを説明する概念図である。なお、説明の便宜上、 X を 4、 α を 1 とし、1 個のグリッドに対して 4 個の CCD 画素を対応させる場合において、連続した n 個のグリッドにつき 1 個分の CCD 画素がずれる場合を説明する。

【0047】

まず、本発明においては、 n 個のグリッドは、グリッドパターン内に含まれていればグリッド全体であってもよく、いずれかの一部のグリッドであってもよい。しかしながら、 n 個に含まれる各グリッドは連続していることが条件であり、対応する CCD 画素も連続していることが条件である。また、1 つのグリッドパ

ターン内に複数の n 個が存在してもよい。つまり、1つのグリッドパターンに対してずれが複数箇所あってもよい。この場合には、それぞれの n を順に $n_1, n_2, n_3 \dots$ と表すことができるが、それぞれのグリッド数は同じであってもよく、異なってもよい。

【0048】

例えば図10Aに示されるように、グリッドパターンが n 個のグリッドで構成されている例を考える。この場合に、グリッドパターン全体で $\pm \alpha$ 個分の画素がずれる場合がある。このようなずれの場合には、 α を1とすると、グリッドパターン全体の n 個のグリッドに対して $4n \pm 1$ 個のCCD画素が対応することとなる。

【0049】

一方、図10Bに示すように、グリッドパターン内の一部の連続した n 個のグリッドに対して ± 1 個分の画素がずれる場合であってもよい。この場合には、グリッドパターン内の一部の n 個のグリッドに対して $4n \pm 1$ 個のCCD画素が対応している。さらに、1つのグリッドパターン内に複数のずれがある場合であってもよい。具体的には、図10Cに示すように、 n_1 の部分、 n_2 の部分、 n_3 の部分でそれぞれ ± 1 個分のCCD画素がずれている。したがって、この図では、グリッドパターン内の一部の n_1 個のグリッドに対して $4n_1 \pm 1$ 個のCCD画素が対応し、 n_2 個のグリッドに対して $4n_2 \pm 1$ 個のCCD画素が対応し、 n_3 個のグリッドに対して $4n_3 \pm 1$ 個のCCD画素が対応している。これをグリッドパターン全体で見ると、 $(n_1 + n_2 + n_3)$ 個のグリッドに対して $4(n_1 + n_2 + n_3) \pm 3$ 個のCCD画素が対応することとなる。

【0050】

このようなCCD画素とグリッドとの対応関係 (n 個のグリッドに対して $Xn \pm \alpha$ 個の画素が対応する関係) においては、ラインセンサカメラの出力を1次元のグレーデータとして表示した場合に、モアレ縞が発生することが本発明者等によって確認されている。また、本発明者等の検討の結果、CCD画素が1つずれる毎に ($\alpha = 1$ 毎に) 1つのモアレの山が現れるということが確認されている。これを具体的に説明する。

【0051】

図11を参照すると、グリッドパターンを5000画素のラインセンサカメラで撮像した際の出力のグレー画像データの1～1200画素の部分を表示している。グラフのX軸はグリッドパターンの長さ方向を表しており、Y軸は光の強度を表している。このグラフにおいては、複数のモアレ縞が（図中の t_n 区間で）発生していることが分かる。上述したように、CCD画素が1個ずれる毎に1つのモアレ山が発生するので、グラフ内のそれぞれの山は、その山に対応するグリッド区間において、CCD画素が1つ分ずれたことを表している。具体的には、最初のグリッド区間 t_1 には、32個のグリッドが含まれており、このグリッドに対して $4n-1=127$ 画素が対応している。以下同様に、グリッド区間 t_2 （34グリッド）に135画素、 t_3 （31グリッド）に123画素、 t_4 （36グリッド）に143画素が対応している。一方、 t_5 は、CCD画素2個分ずれているので、2つの山が発生している。 t_5 のグリッドは66個であり、対応する画素は $4n-2'=262$ 画素である。

【0052】

このようにグレーデータ上でモアレ縞が発生する位置とそれぞれのモアレ縞の幅とは、グリッドとCCD画素とのずれ方に依存し、具体的には、どのグリッド位置でずれが発生するのか、および何個のグリッドでCCD画素1個分ずれるのかに依存するものである。したがって、モアレ縞が発生する位置とそれぞれのモアレ縞の幅とは、グリッドパターンの精度、熱膨張の状態等にしたがって変化し得る。つまり、グリッドパターン、環境温度等を変えることによってモアレ縞の位置、幅、個数等が変化する。本発明は、CCD画素とグリッドとの規則的な対応関係にずれが生じており、このずれ方が様々で一定しない場合であっても、ガラス板に含まれる欠点を検出できることをも特徴とするものである。

【0053】

上記の説明においては、グリッドパターンの精度の問題、熱膨張等によってCCD画素とグリッドとの間にずれが生じてしまう場合を考えた。しかしながら、本発明においては、意図的にずれを発生させることも可能である。例えば、 n 個のグリッドから成るグリッドパターン全体に対して、意図的に $Xn \pm \alpha$ 個のCC

D画素を対応させてもよい。また、グリッドパターンのうちの一部の n 個のグリッドに対して意図的に $Xn \pm \alpha$ 個の CCD 画素を対応させてもよい。一例として、全グリッド数が 1000 の場合に、1000 個のグリッド全体に対して $4000 + 1$ 個の CCD 画素を対応させ、1 個のモアレ縞を発生させてもよい。一方、一部の 40 個のグリッドに対して $160 + 1$ 個の CCD 画素を対応させ、1 個のモアレ縞を発生させてもよい。さらに、意図的にずれを発生させた場合に、熱膨張等によるずれも並存する場合には、それぞれのずれに起因したモアレ山が複数個発生する場合もあるが、本発明はこのような場合にも適用できる。

【0054】

このように意図的にずらしてもよいということは、以下のような利点をもたらす。つまり、上述の第一段階において、所定の 1 グリッドに対して X 個の CCD 画素を対応させる場合でさえ、両者の対応関係を厳密に合わせる必要がなく多少のずれが許容されるということである。微細なピッチで構成されるグリッドパターンを極微細なピッチで配列された CCD 画素で撮像するようなケースにおいては、それぞれのグリッドに X 個の CCD 画素を正確に対応させる調整は困難であり、時間とコストとを必要とするので、このようなずれの許容は極めて有益である。

【0055】

このように本発明においては、CCD 画素の出力をグレー画像データとした場合に、1 以上のモアレ縞が発生する状態を得ることが特徴である。このような状態は、グリッドパターン内のいずれかの連続する n 個のグリッドに対して $Xn \pm \alpha$ 個の CCD 画素を対応させることによって得ることができる。例えば、このようなモアレ縞を発生させる方法としては、1 グリッドに X 個の CCD 画素が対応する位置近傍に撮像手段とグリッドパターンとの位置関係を合わせ、そこからグレーデータ画像を見ながら撮像手段を上下に微調整することによって所望のモアレ縞を発生させることもできる。本発明は、 n 個のグリッドについて画素 α 個分のずれを許容するものである。そして、このようなずれは、グリッドパターンの熱膨張等によって生ずるものでもよく、撮像手段とグリッドパターンとの位置関係を調整して意図的に発生させるものでもよい。したがって、撮像手段（または

／およびグリッドパターン) の位置合わせに高度な正確性を要求せず、位置合わせを容易にすることができる。また、測定装置に厳密な精度を要求しないため、装置のコストを低くすることができる。

【0056】

なお、本発明において、ずれ分である α ($Xn \pm \alpha$ における α) は、1以上の整数とすることができるが、この α の上限については、 $\alpha \leq n/10$ とすることが好ましい。というのは、この上限値を超えると必要なモアレ縞が発生しないことがあるからである。

【0057】

(欠点の検出)

次に、上記のようにモアレが発生している CCD 画素の出力に基づいて、欠点を検出する手法について説明する。本発明は、モアレが発生している CCD 画素の出力に基づいて、正弦波 A と、この正弦波 A から 90° 位相のずれた正弦波 B とを算出することを 1 つの特徴としている。

【0058】

特に、本発明の一態様によれば、 $X=4$ とし、つまり、 n 個のグリッドに対して $4n \pm \alpha$ 個の CCD 画素が対応した状態の CCD 出力により、正弦波 A および B を算出する方法が提供される。以下においては、 $X=4$ の場合に正弦波 A および B を求める方法を具体的に説明する。ここで、図 12, 13 は、符号の割当てを説明する概念図である。

【0059】

(step 1)

正弦波 A および B を算出するにあたって、まず、所定のルールに従って、各 CCD 画素の出力 (C_n) に正または負の符号を割当てる。具体的には、全画素を連続した 4 個の画素ごとの連続したグループに分ける。そして、それぞれのグループ内の画素を C_{4i+1} , C_{4i+2} , C_{4i+3} , C_{4i+4} ($0 \leq i$) と表す。図 12 に示すように、12 個の画素を用いて説明する。最初の 4 個の画素をグループ 1 とし、次ぎの 4 個の画素をグループ 2 とし、さらに次ぎの 4 個の画素をグループ 3 とし、画素がさらに存在する場合には以降グループ 4, 5, 6...

とする。グループ1では $i=0$ であり、したがってグループ1内のそれぞれの画素は、C1, C2, C3, C4と表される。同様に、グループ2は、 $i=1$ であり、グループ3は、 $i=2$ であり、以降 i の値が1ずつ増える。

【0060】

次に、それぞれのグループに含まれる4つの画素に対して、以下の表に示すような三角関数の符号をこの順序パターンで乗算する。具体的には、正弦波Aについては、 \sin の符号を用い、正弦波Bについては \cos の符号を用いる。これは、正弦波BはAよりも 90° ずれており、 $\sin B = \cos A$ の関係に立つからである。なお、この表において重要なことは、 \sin の符号の順序パターンに対して \cos の符号の順序パターンが1つシフトしていることである。一方、Iの列の符号が必ずしも最初の画素に対応することまでは必要とされない。II列以後のいずれかの符号から開始してもよい。

【0061】

【表1】

象限				
	I	II	III	IV
関数	sin	+	+	-
	cos	+	-	-
			-	+

【0062】

例えば、正弦波Aを求める場合には、図13に示すように、グループ内の画素のそれぞれに(+, +, -, -)を乗算してもよいし、(-, +, +, -)を乗算してもよい。ただし、正弦波Bを求める場合には、符号の順序パターンが1つ分シフトする必要があるので、先のケースではグループ内の画素のそれぞれに(+, -, -, +)を乗算する必要がある。なお、図13の変数 i で示すように、いずれのグループに含まれる画素に対しても、同一の順序パターンで±符号が乗算される必要がある。

【0063】

さらに詳細には、1つのグループ内の4個の画素に乘算される4つの±符号の順序パターンについては、以下の条件に従う。第一に、±の符号が、+、+、-、-の順番でくりかえされていればよい。したがって、グループ内の最初の画素に乘算される符号は+、-いずれであってもよい。例えば、最初の画素が+の場合には、(+, +, -, -)であってもよく、(+, -, -, +)であってもよい。一方、最初の画素が-の場合には、(-, -, +, +)であってもよく、(-, +, +, -)であってもよい。第二に、正弦波Bを求める場合には、正弦波Aに対して90°つまり+、-の符号1個分シフトした順序パターンとなる。例えば、正弦波Aの±符号が(-, +, +, -)の場合には、正弦波Bの±符号は、(+, +, -, -)かあるいは(-, -, +, +)とする。このようにして、全ての画素出力値に、上記の規則にしたがって+または-の符号を乗算して符号付けし、A波用、B波用の2種類の符号付画素出力値(C_k)を求める。なお、このようなA波用、B波用の2種類の符号付画素出力値を演算する処理は、画像処理手段5の符号割当て手段によって行うことができる。

【0064】

(step 2)

次に、正弦波Aおよび正弦波Bを算出する。これは、上記で求めたA波用およびB波用の2種類の符号付画素出力値に対して以下の式で求められる。なお、このような正弦波Aおよび正弦波Bを演算する処理は、画像処理手段5の正弦波生成手段によって行うことができる。

【0065】

正弦波Aについては、A波用の符号付画素出力値に対して以下の式で求めることができる。

【0066】

【数1】

$$A_n = \sum_{k=n}^{n+3} A C_k$$

(A_nはA相、A C_kはk番目の画素の符号付画素出力値を表す)

【0067】

次に、正弦波Bについては、B波用の符号付画素出力値に対して以下の式で求めることができる。

【0068】

【数2】

$$B_n = \sum_{k=n}^{n+3} B C_k$$

(B_n はB相、 $B C_k$ はk番目の画素の符号付画素出力値を表す)

【0069】

さらに、 $X=4$ の場合に、グループ化をして符号を割当てA相およびB相を求める上述の処理は、以下の式で表すこともできる。

【0070】

【数3】

$i=0$ 以上の整数

$$A_{4i+1} = -C_{4i+1} + C_{4i+2} + C_{4i+3} - C_{4i+4}$$

$$A_{4i+2} = +C_{4i+2} + C_{4i+3} - C_{4i+4} - C_{4i+5}$$

$$A_{4i+3} = +C_{4i+3} - C_{4i+4} - C_{4i+5} + C_{4i+6}$$

$$A_{4i+4} = -C_{4i+4} - C_{4i+5} + C_{4i+6} + C_{4i+7}$$

$$B_{4i+1} = +C_{4i+1} + C_{4i+2} - C_{4i+3} - C_{4i+4}$$

$$B_{4i+2} = +C_{4i+2} - C_{4i+3} - C_{4i+4} + C_{4i+5}$$

$$B_{4i+3} = -C_{4i+3} - C_{4i+4} + C_{4i+5} + C_{4i+6}$$

$$B_{4i+4} = -C_{4i+4} + C_{4i+5} + C_{4i+6} - C_{4i+7}$$

次に、上記のようにして求められたA相、B相の正弦波から各画素における位相角度を求める。それぞれの画素における位相角度を H_i とすると、位相角度は、 $H_i = \text{ATAN}(B_i / A_i)$ で求めることができる。なお、このような位相角度を演算する処理は、画像処理手段5の位相角度演算手段によって行うことができる。

【0071】

次に、上記のようにして求められた各画素の位相角度から、1画素当たりの位相角度の変化率すなわち位相角速度を求める。具体的には、隣接する画素間の位相角度の差分を求めることによって位相角速度を求めることができる。位相角速度を D_i とすると、位相角速度は、 $D_i = H_{i+1} - H_i$ によって求めることができる。このようにして求められた位相角速度のグラフの一例を図14に示す。なお、このような位相角速度を演算する処理は、画像処理手段5の角速度演算手段によって行うことができる。

【0072】

図14について説明する。測定対象となる透明板状体に欠点が含まれていない場合には、位相角速度 D_i は0近傍で一定となることが確認されている。これに対して、透明板状体に欠点が含まれている場合には、 D_i は大きな値を取ることが確認されている。この図14においては、透明板状体が無欠点の区間は、位相角速度はほぼ0として示されている。一方、 k 区間の付近に欠点が含まれており、位相角速度が急激に変化していることが分かる。

【0073】

このような位相角速度の算出結果から歪みを伴う欠点を検出するためには、位相角速度の値に一定の閾値を設定して判別すると好適である。つまり、この閾値を越える位相角速度については、その部分の画素に対応する透明板状体の部分に欠点が存在すると識別することができる。なお、この閾値は、求められる透明板状体の品質等にしがたって任意に設定することができる。具体的には、品質が低くてもよい場合には閾値を高く設定し、そうでない場合には閾値を低く設定する。なお、このようにして、予め設定されている閾値を越える位相角速度を判別して、その部分の画素に対応する透明板状体の欠点を検出する処理は、画像処理手段5の欠点検出手段によって行うことができる。

【0074】

このようにすることにより、グリッドとCCD画素との規則的な対応関係にずれがある場合であっても、測定対象である透明板状体に含まれる欠点を精度よく検出することができる。

【0075】

(屈折力の算出)

次に、上記で求めた位相角速度に基づいてそれぞれの画素に対応する透明板状体の屈折力を求める方法を説明する。

【0076】

まず、上記で求められた位相角速度は、グリッドとCCD画素とのピッチのずれからモアレ縞が生じており、そのずれ分の位相角度の角速度になっている分だけ D_i が0からシフトしている。したがって、全体を平均してずれの分を補正し、0のレベルになるようにすることが好適である。

【0077】

具体的な補正方法を説明する。まず、全体の平均を求める。全体の画素数を M 、全体の平均を AVE とすると、全体の平均は

$$AVE = \sum D_i / M$$

で求められる。補正後の位相角速度を E_i とすると、補正後の位相角速度は、

$$E_i = D_i - AVE$$

で求められる。なお、このような処理は、画像処理手段5の補正手段によって行うことができる。

【0078】

次に、上記のようにして求められた補正後の位相角速度 E_i に基づいてそれぞれの画素における透明板状体の屈折力を求める。

【0079】

具体的に説明する。まず、

LP ：屈折力（単位： dpt （ディオプター））

f ：焦点距離

P ：グリッドのピッチ

L ：ガラス～グリッドの距離

θ ：ガラスによる屈折角度

とする。

【0080】

i 番目の画素における1画素分でのずれ量＝

$$(E_i / 2\pi) \times P$$

i 番目の画素における 1 画素分でのずれ角度:

$$\theta_i = \tan \theta_i = (E_i / 2\pi) \times P \times (1/L)$$

(θ_i が小さいため)

1 画素分のピッチ: $G = P/4$ と、

その部分でのレンズ作用の焦点距離: f_i との関係は、

$$\tan \theta_i = G / f_i$$

である。

【0081】

したがって、i 番目の画素における屈折力を LP_i とすると、

$$LP_i = 1 / f_i = (\tan \theta_i) / G =$$

$$(E_i / 2\pi) \times P \times (1/L) \times (4/P) = 2E_i / (\pi \times L) \quad (dpt)$$

と表すことができる。また、これの 1000 倍が $mdpt$ となる。

【0082】

このような方法により、それぞれの画素における屈折力を求めることができる。また、各画素に対応する透明板状体の部分の屈折力を求めることができる。したがって、グリッドと CCD 画素との規則的な対応関係にずれがある場合であっても、測定対象である透明板状体の所望の箇所の屈折力を精度よく算出することができる。なお、このような屈折力の演算は、画像処理手段 5 の屈折力演算手段によって行うことができる。

【0083】

次に、各画素でのずれ量（位相での角度）の積算値を求める。ここでは、上記の E_i を積算することにより、各画素での位相角度のずれ積算量を求めることができる。

【0084】

具体的には、

$$F_1 = 0$$

$$F_{i+1} = F_i + E_i$$

によってずれの積算量を求めることができる。なお、このようなずれ量の積算は

、画像処理手段5のずれ積算手段によって行うことができる。

【0085】

さらに、このFiから各画素での光の曲がる角度を求めることも可能である。このような方法により、グリッドとCCD画素との規則的な対応関係にずれがある場合であっても、各画素でのずれ積算量を求めることができ、各画素での光の曲がる角度を求めることができる。

【0086】

【実施例1】

次に、本発明の実施例を説明する。この実施例においては、5000画素を有するラインセンサカメラを用いて撮像した画像のグレーデータを、Z1～Z5000として入力し、入力された画素出力値を $C_i = Z_i$ ($i = 1 \sim 5000$)として表す。なお、1つのグリッドに4個のCCD画素を対応させて撮像した場合の、グレーデータの1～1200画素の部分を図15に示し、図15のQ区間の拡大図を図16に示す。

【0087】

画像処理の手順を図17～19のフローチャートを用いて説明する。まず、図17に示すように、ステップ1として±符号を生成する。1つのグリッド(1ピッチ)当たりの画素数をhとすると、±符号の生成は、 $h/2$ を基礎となる数字として行われる。具体的には、 $h/2$ 個の+符号と $h/2$ 個の-符号とを交互に生成する。そして、生成した符号を順番にfugokで識別し、生成した符号をレジスタ、キャッシュメモリ、主記憶装置等の記憶装置に記憶する。なお、この処理は、符号生成手段によって行うことができる。

【0088】

なお、図17のフローにおいては、 $h = 8$ 、すなわち、1グリッド当たり8個のCCD画素を対応させた例を示している。しかしながら、このフローにおいては、hは4の整数倍の値であればどのような値にも適用可能である。例えばhが4であっても、12であってもよい。具体的には、本例のように $h = 8$ の場合には、4個の+符号と4個の-符号とを交互に生成する。一方、 $h = 4$ の場合には2個、 $h = 12$ の場合には6個の+符号と-符号とを交互に生成する。

【0089】

このようにして、 h の数を（4の整数倍で）増やすことにより、1グリッド当たりのCCD画素数を増加させて測定精度を上げることができる。

【0090】

次に、図18に示すように、ステップ2としてA相、B相の正弦波を生成する。具体的には、ステップ1で生成した±符号（ $f u g o(k)$ ）を、それぞれの画素出力値（ $d a t a(i)$ ）に順番に割当ててA相用の符号付画素出力値を演算する。そして、求めるA相の $A i$ の値を、 $A i$ 以後の h 個の画素の符号付画素出力値の和によって演算する。

【0091】

次に、B相を演算する。ステップ1で生成した±符号（ $f u g o(k)$ ）を $h/4$ シフトした後にそれぞれの画素出力値（ $d a t a(i)$ ）に順番に割当ててB相用の符号付画素出力値を演算する。そして、求めるB相の $B i$ の値を、 $B i$ 以後の h 個の画素の符号付画素出力値の和によって演算する。そして、算出されたA相、B相の正弦波を記憶装置に記憶する。このようにして生成されたA相、B相の正弦波のグラフを図20に示す。なお、このような処理は正弦波生成手段によって行うことができる。一方、上記の符号の生成およびA相、B相の正弦波の生成をまとめて、以下の式によって処理することもできる。

【0092】

【数4】

$i = 0$ 以上の整数

$k = 0 \sim 5000/h$

FOR $i = 0$ TO k

$A_{8i+1} = -C_{8i+1} - C_{8i+2} + C_{8i+3} + C_{8i+4} + C_{8i+5} + C_{8i+6} - C_{8i+7} - C_{8i+8}$

$A_{8i+2} = -C_{8i+2} + C_{8i+3} + C_{8i+4} + C_{8i+5} + C_{8i+6} - C_{8i+7} - C_{8i+8} - C_{8i+9}$

$A_{8i+3} = +C_{8i+3} + C_{8i+4} + C_{8i+5} + C_{8i+6} - C_{8i+7} - C_{8i+8} - C_{8i+9} - C_{8i+10}$

$$A_{8i+4} = +C_{8i+4} + C_{8i+5} + C_{8i+6} - C_{8i+7} - C_{8i+8} - C_{8i+9} - C_{8i+10} + C_{8i+11}$$

$$A_{8i+5} = +C_{8i+5} + C_{8i+6} - C_{8i+7} - C_{8i+8} - C_{8i+9} - C_{8i+10} + C_{8i+11} + C_{8i+12}$$

$$A_{8i+6} = +C_{8i+6} - C_{8i+7} - C_{8i+8} - C_{8i+9} - C_{8i+10} + C_{8i+11} + C_{8i+12} + C_{8i+13}$$

$$A_{8i+7} = -C_{8i+7} - C_{8i+8} - C_{8i+9} - C_{8i+10} + C_{8i+11} + C_{8i+12} + C_{8i+13} + C_{8i+14}$$

$$A_{8i+8} = -C_{8i+8} - C_{8i+9} - C_{8i+10} + C_{8i+11} + C_{8i+12} + C_{8i+13} + C_{8i+14} - C_{8i+15}$$

$$B_{8i+1} = +C_{8i+1} + C_{8i+2} + C_{8i+3} + C_{8i+4} - C_{8i+5} - C_{8i+6} - C_{8i+7} - C_{8i+8}$$

$$B_{8i+2} = +C_{8i+2} + C_{8i+3} + C_{8i+4} - C_{8i+5} - C_{8i+6} - C_{8i+7} - C_{8i+8} + C_{8i+9}$$

$$B_{8i+3} = +C_{8i+3} + C_{8i+4} - C_{8i+5} - C_{8i+6} - C_{8i+7} - C_{8i+8} + C_{8i+9} + C_{8i+10}$$

$$B_{8i+4} = +C_{8i+4} - C_{8i+5} - C_{8i+6} - C_{8i+7} - C_{8i+8} + C_{8i+9} + C_{8i+10} + C_{8i+11}$$

$$B_{8i+5} = -C_{8i+5} - C_{8i+6} - C_{8i+7} - C_{8i+8} + C_{8i+9} + C_{8i+10} + C_{8i+11} + C_{8i+12}$$

$$B_{8i+6} = -C_{8i+6} - C_{8i+7} - C_{8i+8} + C_{8i+9} + C_{8i+10} + C_{8i+11} + C_{8i+12} - C_{8i+13}$$

$$B_{8i+7} = -C_{8i+7} - C_{8i+8} + C_{8i+9} + C_{8i+10} + C_{8i+11} + C_{8i+12} - C_{8i+13} - C_{8i+14}$$

$$B_{8i+8} = -C_{8i+8} + C_{8i+9} + C_{8i+10} + C_{8i+11} + C_{8i+12} - C_{8i+13} - C_{8i+14} - C_{8i+15}$$

次に、図19に示すように、ステップ3として位相角度を演算し、角速度を演算する。まず、上記で生成されたA相、B相の正弦波によって求められるリサージュ図形を図21に示す。なお、このリサージュ図形は説明の便宜上用いられる

ものであり、リサージュ図形上の位相角度は計算によって求めることができるので、このようなリサージュ図形を描画する処理は必須のものとしなくてもよい。次に、A相、B相の正弦波から求めたそれぞれの画素のリサージュ図形上の位相角度を以下の式によって計算する。そして、算出結果を記憶装置に記憶する。この処理は、位相角度演算手段によって行うことができる。リサージュ図形上での位相角度を図22に示す。

【0093】

【数5】

A, B相のサインカーブから求めたリサージュ図形上の位相角度計算

```

      IF (A1>0) THEN C1=ATAN (B1/A1)      第1象限、第4象限
ELSE IF (A1<0) THEN
      IF (B1>0) THEN C1=ATAN (B1/A1) + π  第2象限
      ELSE C1=ATAN (B1/A1) - π          第3象限
ELSE IF (B1>0) THEN C1=π/2      第2象限 (A1=0の例外処理)
ELSE IF (B1<0) THEN C1=-π/2     第4象限 (A1=0の例外処理)
ELSE C1=0                        (A1=0、B1=0の例外処理)

```

i=2~4996

```

      IF (Ai>0) THEN Ci=ATAN (Bi/Ai)      第1象限、第4象限
ELSE IF (Ai<0) THEN
      IF (Bi>0) THEN Ci=ATAN (Bi/Ai) + π  第2象限
      ELSE Ci=ATAN (Bi/Ai) - π          第3象限
ELSE IF (Bi>0) THEN Ci=π/2      第2象限 (Ai=0の例外処理)
ELSE IF (Bi<0) THEN Ci=-π/2     第4象限 (Ai=0の例外処理)
ELSE Ci=Ci-1                     (Ai=0、Bi=0の例外処理)

```

【0094】

次に、求められたそれぞれの画素のリサージュ図形上の位相角度を用いて、1画素当たりの位相角度の変化率すなわち位相角速度を以下の式によって計算する。そして、算出結果を記憶装置に記憶する。この処理は、角速度演算手段によって行うことができる。求められた位相角速度を図23に示す。

【0095】

【数6】

1画素当たりの位相角度の変化率つまり位相角速度計算

$$Di-1 = Ci - Ci-1$$

1画素当たりの位相変化率

```

IF (Di-1>π) THEN Di-1 = Di-1 - 2π  1周期-方向補正
IF (Di-1<-π) THEN Di-1 = Di-1 + 2π  1周期+方向補正

```

【0096】

次に、求められた1画素当たりの位相角度速度を以下の式によって、平均処理およびゼロ補正する。そして、算出結果を記憶装置に記憶する。この処理は、補正手段によって行うことができる。

【0097】

【数7】

平均処理およびゼロ補正

グリッドとCCD素子のピッチのズレからモアレ縞が生じ、そのズレ分の位相角度の角速度になっている分だけ D_i が0からシフトしているため、全体を平均してズレの分を補正し、ゼロのレベルになるようにする必要がある。

$$AVE = \sum D_i / 4995$$

$$i = 1 \sim 4995$$

$$E_i = D_i - AVE$$

補正後の1画素当たりの位相変化率

【0098】

次に、補正された位相角速度を用いて、それぞれの画素における屈折力を以下の式によって計算する。そして、算出結果を記憶装置に記憶する。この処理は、屈折力演算手段によって行うことができる。

【0099】

【数 8】

レンズパワー計算

$L P$: レンズパワー (単位: $d p t$ (ディオプター))
 f : 焦点距離
 P : グリッドのピッチ
 L : ガラス〜グリッドの距離
 θ : ガラスによる屈折角度 とすると

$$i \text{ 番目の画素における 1 画素分でのズレ量} = \frac{E_i}{2\pi} \cdot P$$

$$i \text{ 番目の画素における 1 画素分でのズレ角度: } \theta_i = \tan \theta_i = \frac{E_i}{2\pi} \cdot P \cdot \frac{1}{L}$$

(θ_i が小さいため)

1 画素分のピッチ: $G = P/4$ と
 その部分でのレンズ作用の焦点距離: f_i との関係は
 $\tan \theta_i = G/f_i$ であるから

$$L P_i = 1/f_i = \frac{\tan \theta_i}{G} = \frac{E_i}{2\pi} \cdot P \cdot \frac{1}{L} \cdot \frac{4}{P} = \frac{2 E_i}{\pi \cdot L}$$

これの 1000 倍の単位が $m d p t$ になる。

【0100】

次に、補正された位相角速度を用いて、それぞれの画素におけるズレ量の積算値を以下の式によって計算する。そして、算出結果を記憶装置に記憶する。この処理は、ズレ積算手段によって行うことができる。

【0101】

【数 9】

各画素でのズレ量 (位相での角度) の積算値計算

上記の E_i を積算すると各画素のリサージュ図形上で位相角度のズレ積算量を求めることができる。またこの F_i から各画素での光の曲がる角度を求めることも可能である。

$$\begin{aligned}
 F_1 &= 0 \\
 i &= 2 \sim 4992 \\
 F_{i+1} &= F_i + E_i
 \end{aligned}$$

【0102】

なお、この例においては、図 17 のフローのように、 $h/2$ 個の + 符号と $h/2$

個の一符号とを交互に生成し、図18のフローのように、生成した±符号を $h/4$ シフトした後にそれぞれの画素出力値に順番に割当ててB相用の符号付画素出力値を求める。このような符号割当て処理を行うことにより、1つのグリッドに対応するCCD画素の数が増えた場合にも、それが4の整数倍の数である限り、A相、B相の2つの正弦波を求め、欠点の検出、屈折力の算出等を行うことができる。したがって、1つのグリッドに対応する画素の数を増加させて測定精度を上げることができる。また、ハードウェアに改良を加えることなく測定の精度を上げることができる。

【0103】

また、1つのグリッドに対応する画素の数を表す X が、 $X = 4p$ (p は1以上の整数) の場合に、正弦波A用の符号付画素出力値 AC_k からA相 (A_n) を求める式は、以下のように一般化することもできる。

【0104】

【数10】

$$A_n = \sum_{k=n}^{n+(X-1)} AC_k$$

【0105】

同様に、 $X = 4p$ の場合に、正弦波B用の符号付画素出力値 BC_k からB相 (B_n) を求める式は、以下のように一般化することもできる。

【0106】

【数11】

$$B_n = \sum_{k=n}^{n+(X-1)} BC_k$$

【0107】

(第2の実施の形態)

本発明の第2の実施の形態として、 n 個のグリッドに対して $4n \pm \alpha$ 個のCCD画素を対応させた状態のCCD出力により、それぞれの画素における位相角度

を求める他の方法を説明する。

【0108】

この第2の実施の形態においては、モアレが発生しているCCD画素の出力に基づいて、A相、B相、C相、D相から成る4種類の正弦波を求める。そして、この4種類の正弦波を用いて、位相角度を求める。ここで、この4種類の正弦波は、A相→B相→C相→D相の順番に 90° ずつ位相をずらしたものである。すなわち、A相から 90° 位相をずらしてB相を求め、B相から 90° 位相をずらしてC相を求め、C相から 90° 位相をずらしてD相を求めている。

【0109】

次に、CCD画素の出力から、 90° ずつ位相がずれた4種類の正弦波を求める方法を説明する。

【0110】

(step1)

まず、所定のルールに従って、各CCD画素の出力(V_n)に正または負の符号を割当てて。具体的には、第1の実施の形態と同様に、全画素を連続した4個の画素ごとの連続したグループに分ける。そして、それぞれのグループ内の画素を V_{4i+1} , V_{4i+2} , V_{4i+3} , V_{4i+4} ($0 \leq i$) と表す。

【0111】

次に、それぞれのグループに含まれる4つの画素に対して、以下の表2に含まれる行ごとの符号をこの順序パターンで乗算する。具体的には、A相については、行1を用い、行1のI~IVそれぞれの符号を、上記各グループ内の4つの画素のそれぞれに対応させて乗算する。次に、B相については、行2のそれぞれの符号を、上記各グループ内の4つの画素のそれぞれに対応させて乗算する。次に、C相については、行3のそれぞれの符号を同様にして乗算する。最後にD相については、行4のそれぞれの符号を同様にして乗算する。

【0112】

【表 2】

	I	II	III	IV
1	+	+	-	-
2	+	-	-	+
3	-	-	+	+
4	-	+	+	-

【0113】

上記の表 2 においては、それぞれの行に含まれる符号パターンは、行ごとに異なっており、行 1 から行 4 にかけて、符号パターン内の符号の配置を、符号 1 つ分ずつシフトさせている。したがって、行 1 から行 4 を、A 相～D 相に順番に割当てることにより、乗算される符号パターンを符号 1 つ分ずつシフトさせることができる。なお、重要なことは、A 相から D 相にかけて、符号を 1 つ分ずつシフトさせることであり、A 相に行 1 を割当ててを必須としているわけではない。したがって、A 相に対しては、行 1～行 4 のいずれを割当ててもよい。A 相～D 相に対する符号パターン割当て例を表 3 に示す。

【0114】

【表 3】

1	A	D	C	B
2	B	A	D	C
3	C	B	A	D
4	D	C	B	A

【0115】

このようにして、全ての画素出力値に、上記の規則にしたがって+または-の

符号を乗算して符号付けし、A相用、B相用、C相用、D相用の4種類の符号付画素出力値 (AV_k , BV_k , CV_k , DV_k) を求める。なお、このようなA相用～D相用の4種類の符号付画素出力値を演算する処理は、画像処理手段5の符号割当て手段によって行うことができる。

【0116】

(step 2)

次に、A相、B相、C相、D相、4種類の正弦波を算出する。これは、上記で求めたA相用～D相用の4種類の符号付画素出力値に対して以下の式で求めることができる。なお、このようなA相、B相、C相、D相、4種類の正弦波を演算する処理は、画像処理手段5の正弦波生成手段によって行うことができる。

【0117】

A相については、A相用の符号付画素出力値に対して以下の式で求めることができる。

【0118】

【数12】

$$A_n = \sum_{k=n}^{n+3} AV_k$$

(A_n はA相、 AV_k はk番目の画素の符号付画素出力値を表す)

【0119】

次に、B相については、B相用の符号付画素出力値に対して以下の式で求めることができる。

【0120】

【数13】

$$B_n = \sum_{k=n}^{n+3} BV_k$$

(B_n はB相、 BV_k はk番目の画素の符号付画素出力値を表す)

【0121】

次に、C相については、C相用の符号付画素出力値に対して以下の式で求めることができる。

【0 1 2 2】

【数 1 4】

$$C_n = \sum_{k=n}^{n+3} C V_k$$

(C_n はC相、 $C V_k$ はk番目の画素の符号付画素出力値を表す)

【0 1 2 3】

次に、D相については、D相用の符号付画素出力値に対して以下の式で求めることができる。

【0 1 2 4】

【数 1 5】

$$D_n = \sum_{k=n}^{n+3} D V_k$$

(D_n はD相、 $D V_k$ はk番目の画素の符号付画素出力値を表す)

【0 1 2 5】

さらに、 $X=4$ の場合に、グループ化をして符号を割当てA相～D相を求める
上述の処理は、以下の式で表すこともできる。

【0 1 2 6】

【数 1 6】

$i=0$ 以上の整数

$$A_{4i+1} = -V_{4i+1} + V_{4i+2} + V_{4i+3} - V_{4i+4}$$

$$A_{4i+2} = +V_{4i+2} + V_{4i+3} - V_{4i+4} - V_{4i+5}$$

$$A_{4i+3} = +V_{4i+3} - V_{4i+4} - V_{4i+5} + V_{4i+6}$$

$$A_{4i+4} = -V_{4i+4} - V_{4i+5} + V_{4i+6} + V_{4i+7}$$

$$B_{4i+1} = +V_{4i+1} + V_{4i+2} - V_{4i+3} - V_{4i+4}$$

$$B_{4i+2} = +V_{4i+2} - V_{4i+3} - V_{4i+4} + V_{4i+5}$$

$$B_{4i+3} = -V_{4i+3} - V_{4i+4} + V_{4i+5} + V_{4i+6}$$

$$B_{4i+4} = -V_{4i+4} + V_{4i+5} + V_{4i+6} - V_{4i+7}$$

$$C_{4i+1} = +V_{4i+1} - V_{4i+2} - V_{4i+3} + V_{4i+4}$$

$$C_{4i+2} = -V_{4i+2} - V_{4i+3} + V_{4i+4} + V_{4i+5}$$

$$C_{4i+3} = -V_{4i+3} + V_{4i+4} + V_{4i+5} - V_{4i+6}$$

$$C_{4i+4} = +V_{4i+4} + V_{4i+5} - V_{4i+6} - V_{4i+7}$$

$$D_{4i+1} = -V_{4i+1} - V_{4i+2} + V_{4i+3} + V_{4i+4}$$

$$D_{4i+2} = -V_{4i+2} + V_{4i+3} + V_{4i+4} - V_{4i+5}$$

$$D_{4i+3} = +V_{4i+3} + V_{4i+4} - V_{4i+5} - V_{4i+6}$$

$$D_{4i+4} = +V_{4i+4} - V_{4i+5} - V_{4i+6} + V_{4i+7}$$

次に、上記のようにして求められたA相～D相の正弦波から各画素における位相角度を求める。それぞれの画素における位相角度を H_i とすると、位相角度は、 $H_i = \text{ATAN}((B_i - D_i) / (A_i - C_i))$ で求めることができる。なお、このような位相角度を演算する処理は、画像処理手段5の位相角度演算手段によって行うことができる。

【0127】

【実施例2】

次に、A相～D相の4種類の正弦波を用いた本発明の第2の実施例を説明する。この実施例においては、5000画素を有するラインセンサカメラを用いて撮像した画像のグレースケールデータを処理する例を説明する。

【0128】

画像処理の手順を図24～29のフローチャートを用いて説明する。図24～29は、画像処理の手順を示すフローチャートである。まず、図24に示すように、ステップ1として±符号を生成する。1つのグリッド（1ピッチ）当たりの画素数を h とすると、±符号の生成は、 $h/2$ を基礎となる数字として行われる。具体的には、 $h/2$ 個の+符号と $h/2$ 個の-符号とを交互に生成する。そして、生成した符号を順番に $f u g o(k)$ で識別し、生成した符号をレジスタ、キャッシュメモリ、主記憶装置等の記憶装置に記憶する。なお、この処理は、符号生成手段によって行うことができる。

【0129】

なお、図24のフローにおいては、 $h=4$ 、すなわち、1グリッド当たり4個のCCD画素を対応させた例を示している。しかしながら、このフローにおいては、 h は4の整数倍の値であればどのような値にも適用可能である。例えば h が8であっても、12であってもよい。具体的には、本例のように $h=4$ の場合には、2個の+符号と2個の-符号とを交互に生成する。一方、 $h=8$ の場合には4個、 $h=12$ の場合には6個の+符号と-符号とを交互に生成する。

【0130】

このようにして、 h の数を（4の整数倍で）増やすことにより、1グリッド当たりのCCD画素数を増加させて測定精度を上げることができる。

【0131】

次に、図25～28に示すように、ステップ2としてA相～D相の正弦波を生成する。具体的には、ステップ1で生成した±符号（ $fug o(k)$ ）を、それぞれの画素出力値（ $data(i)$ ）に順番に割当ててA相用の符号付画素出力値を演算する。そして、求めるA相（ $phase\#a(i)$ ）の値を、 i 番目以後の h 個の画素の符号付画素出力値の和によって演算する。

【0132】

次に、B相を演算する。ステップ1で生成した±符号（ $fug o(k)$ ）を $h/4$ シフトした後にそれぞれの画素出力値（ $data(i)$ ）に順番に割当ててB相用の符号付画素出力値を演算する。そして、求めるB相（ $phase\#b(i)$ ）の値を、 i 番目以後の h 個の画素の符号付画素出力値の和によって演算する。同様に、C相（ $phase\#c(i)$ ）、次にD相（ $phase\#d(i)$ ）を演算する。そして、算出されたA相～D相の正弦波を記憶装置に記憶する。このようにして生成されたA相～D相の正弦波のグラフを図30に示す。なお、このような処理は正弦波生成手段によって行うことができる。

【0133】

次に、図29に示すように、ステップ3として位相角度を演算し、角速度を演算する。まず、上記で生成されたA相～D相の4種類の正弦波に基づいて、以下の式によって位相角度を計算する。計算した位相角度のグラフを図31に示す。

【0134】

【数17】

位相角度計算

$$C_i = \text{ATAN}((P_{Bi} - P_{Di}) / (P_{Ai} - P_{Ci}))$$

但し、 $(P_{Ai} - P_{Ci})$ が 0 なら $C_i = C_{i-1}$ とする。

この演算では、 C_i は $-\pi/2$ から $\pi/2$ に分布する。

【0135】

この第2の実施例における位相角度の計算方法によれば、上記第1の実施例に比べてIF文を減らすことができるため、演算処理を速くすることができる。

【0136】

次に、求めた位相角度を用いて、1画素当たりの位相角度の変化率すなわち位相角速度を以下の式によって計算する。そして、算出結果を記憶装置に記憶する。この処理は、角速度演算手段によって行うことができる。求められた位相角速度のグラフを図32に示す。

【0137】

【数18】

$$D_{i-1} = C_i - C_{i-1}$$

1画素当たりの位相変化率

IF $(D_{i-1} > \pi/2)$ THEN $D_{i-1} = D_{i-1} - \pi$ 半周期-方向補正

IF $(D_{i-1} < -\pi/2)$ THEN $D_{i-1} = D_{i-1} + \pi$ 半周期+方向補正

【0138】

次に、求められた1画素当たりの位相角速度を以下の式によって、平均処理およびゼロ補正する。そして、算出結果を記憶装置に記憶する。この処理は、補正手段によって行うことができる。

【0139】

【数 19】

平均計算

このDは、グリッドとCCD素子のピッチが一致せずずれているとき、モアレ縞ができ、そのズレ分の位相差角度の角速度になっている分だけ0からシフトしているため、平均して0のレベルになるようにする必要がある。

$$AVE = \sum D_i / 4995$$

$$i = 1 \sim 4995$$

$$E_i = D_i - AVE$$

1画素当りの位相変化率

【0140】

次に、補正された位相角速度を用いて、それぞれの画素における屈折力を計算する。具体的な計算処理は、上記の第1の実施例と同様であるので、詳しい説明を省略する。

【0141】

次に、補正された位相角速度を用いて、それぞれの画素におけるずれ量の積算値を以下の式によって計算する。そして、算出結果を記憶装置に記憶する。この処理は、ずれ積算手段によって行うことができる。以下の式によって求めた F_i のグラフを図33に示す。なお、この F_i のグラフは、角速度（レンズパワー）を積算したグラフであり、 F_i は、レンズ作用による光の屈折角度になる。

【0142】

【数 20】

4画素による平均

$$i = 1 \sim 4992$$

$$F_i = (E_i + E_{i+1} + E_{i+2} + E_{i+3}) / 4$$

(4で割らずに足したままで後の演算をしても良い)

【0143】

(第3の実施の形態)

上述した第1および第2の実施の形態に示したように、モアレ縞を利用した欠陥の光学的歪みを検出する方法では、モアレ縞を発生させるためにグリッドパターンを使用する。そして、グリッドが配列される方向の欠陥の光学的歪みを検出する。このため、検出可能な欠陥のサイズは、グリッドパターンの間隔および撮

像するカメラの分解能によってほぼ決められる。

【0144】

欠陥サイズが微小なものを検出するためには、グリッドパターンの間隔を狭め、カメラの分解能を上げれば検出可能である。しかしながら、カメラ1台当たりの視野が狭くなるのでカメラ台数が増え、検出機自体が大掛かりなものになり、コストも大きくなる。

【0145】

したがって、板状体に存在する微小欠点を検出する方法において、上述した第1および第2の実施の形態と同条件（グリッドパターンの間隔、カメラの分解能）で、第1および第2の実施の形態の方法よりも高い検出感度を得られる検出機を提供することが望ましい。

【0146】

第3の実施の形態においては、上述した第1および第2の実施の形態におけるグリッドパターンでの検出に加え、グリッドパターンとスリットとを用いて板状体に存在する欠点を検出することをポイントとする。

【0147】

図34は、本発明の第3の実施形態に係る検査装置の構成を説明する概略側面図である。具体的には、図34に示すように、検査対象物である板状体3を撮像する撮像手段4と照明1とを備え、検査対象物3と照明1との間にグリッドパターン2を配置する。検査対象物3の搬送方向を矢印で示す。そして、撮像手段4と、グリッドパターン2および照明1とが、検査対象物3を介して対向するように配置する。さらに、検出感度を向上させるためのスリット体10を備える。スリット体10を、照明1と撮像手段4との間に配置することが必要である。

【0148】

スリット体10は、図34に示すように、一对の遮光部11および12と、この一对の遮光部の間のスリットとから構成されている。例えば、このようなスリット体10は、一对の黒色の遮光板を、その間に一定の間隔dを置いて配置することによって実現することができる。

【0149】

図35は、図34の検査装置において、撮像手段4の位置から照明1側を見た平面図である。スリット体10を配置する位置としては、図35に示すように、スリットの長手方向とグリッドパターン2の配列方向とを合わせる。そして、図34に示すように、撮像手段4のラインセンサの光軸7が、スリットを通過するようにする。光軸7とスリットの幅方向の中心とをほぼ一致させるようにすると好適である。

【0150】

図36～38は、スリット体10の配置例を説明する概略側面図である。図34においては、スリット体10をグリッドパターン2の上側に重ねて配置した例を示した。しかしながら、スリット体10の配置をこれに限定するものではない。本発明においては、スリット体10を、照明1と撮像手段4との間に配置すればよい。したがって、図36に示すように、スリット体10の上側にグリッドパターン2を重ねて配置してもよい。すなわち、スリット体10をグリッドパターン2の下側に配置してもよい。

【0151】

さらに、図37(A)および図37(B)に示すように、スリット体10とグリッドパターン2とを離して配置してもよい。また、図38に示すように、スリット体10を、検査対象物3を挟んでグリッドパターン2と対向する側に配置してもよい。

【0152】

次に、スリットの間隔 d を調整することによって、検出感度を向上させる方法について説明する。

【0153】

スリットの間隔 d による光の回折を考えると、スリットから距離 L 離れた地点での光の幅 W はスリットの幅 d と回折による幅 $L\theta$ の和(θ :回折角)であり、以下の式で表される。

【0154】

【数 2 1】

$$W = d + L \theta \approx d + \lambda L / d \quad (\lambda : \text{光の波長})$$

【0 1 5 5】

このとき、 W が最小となるのは、 $d = \sqrt{\lambda \cdot L}$ のときである。このとき、 W も $W = \sqrt{\lambda \cdot L}$ となる。

【0 1 5 6】

したがって、スリットの間隔 d は、 $d \approx \sqrt{\lambda \cdot L}$ となるように配置することが好ましい。（ λ : 照明の光の波長、 L : カメラからスリットまでの距離）

このように、ある程度適切なスリット間隔に設定したスリットを用いることによって、照明からの光線の広がりを抑えることができ、比較的平行光に近い状態で検査することができる。これにより迷光を遮断することができるため検出感度を向上させることができる。

【0 1 5 7】

【実施例 3】

図 3 4 と同様の検査装置を用いた第 3 の実施例について説明する。この検査装置は、照明器 1 と CCD カメラ 4 とグリッドパターン 2 およびスリット体 10 で構成され、被検査体 3 に存在する欠点によって発生する光学的歪みの屈折力をグリッドパターンの変化をとらえることによって検査する。

【0 1 5 8】

具体的には、第 3 の実施例においては、このような欠点検出装置を用いて、スリットの間隔 d を変化させた場合における光学的歪みの屈折力への影響を調べた。

【0 1 5 9】

例えば被検査体 3 として、厚さ 1 mm のフロートガラス板を、その下部にある照明器 1 からの光によって照射し、CCD カメラ 4 でガラス板を撮像した。照明器 1 には、直管蛍光灯を用いて、ガラス板の裏面からある一定距離離して配置し、透過型照明としている。さらに、ガラス板 3 と照明器 1 との間には、ガラス板 3 に存在する欠点によって発生する光学的歪みを検出するためのグリッドパター

ン2と、照明器1からの光線を平行光にし、迷光を遮るためのスリット体10とを配置している。このスリット体10のスリットの間隔 d を、その間隔がそれぞれ $d_1 \sim d_5$ になるように配置して検査を行う。このとき、CCDカメラ4からスリット10までの距離は1000mmとし、照明光は緑色光（波長が約500nm程度）または、白色光を用いた。

【0160】

CCDカメラ4で撮像した画像は、画像処理装置で画像処理した。画像処理によってCCDカメラ4で撮像された画像データから 90° ずつ位相のずれた複数種類の正弦波を演算し、複数種類の正弦波から各画素における位相角度を求め、各画素間の位相角度の差から光学的歪みの屈折力を算出した。

【0161】

本実施例における結果を図39に示す。図39は、実施例で行った光学的歪みの屈折力のスリットによる影響を示すグラフである。図39では、画像処理装置によって算出された光学的歪みの屈折力を256階調で表している。なお横軸はスリットの間隔、縦軸は歪みの屈折力（単位：m d p t ミリディオプター）である。スリットの間隔は、0.5mm, 1mm, 2mm, 3mm, 5mmであり、それぞれが $d_1 \sim d_5$ に対応している。

【0162】

図39に示された結果より、スリットの間隔の違いによって光学的歪みの屈折力に変化があることが分かった。このことから、スリットを用いることによって光学的歪みの屈折力に影響を与えることを確認した。実施結果において、スリットの間隔は0.5mmの場合が最も効果があった。

【0163】

実施結果から、スリットの間隔を狭めるほど、迷光を遮ることができ、歪みの屈折力をより強く検知することが可能であることが分かった。

【0164】

ここで、スリットの間隔による光の回折を考えると、スリットから距離 L 離れた地点での光の幅 W はスリットの幅 d と回折による幅 $L\theta$ の和、 $W = d + L\theta \doteq d + \lambda L / d$ （ λ ：光の波長）で表される。このとき、 W が最小となるのは、 d

$=\sqrt{(\lambda \cdot L)}$ のときである。このとき、 W も $W=\sqrt{(\lambda \cdot L)}$ となる。この式より実施例における最適スリット幅を計算すると、緑色光のときには $W \approx 0.7$ mm となる。

【0165】

そのため、スリットの間隔は、上記式より計算された幅に近い値に設定することが望ましい。ただし、CCDカメラの視野、設定状況も考慮しなければならない。例えば、CCDカメラの視野範囲に影響を与えない程度にすることも考慮しなければならない。そのために、スリット間隔 d が $100 \mu\text{m}$ 以上となるような条件で行うことが好ましい。

【0166】

(第4の実施の形態)

上述した第3の実施の形態においては、グリッドパターンに加えてスリット体を用いる構成を説明した。一方、グリッドパターンにスリットを加える代わりとして、予めグリッド幅を狭め、そのグリッド以外の部分を黒くスリット状にマスクングしたグリッドパターンを使用してもよい。

【0167】

図40に、第4の実施の形態に係るグリッドパターンの概略平面図を示す。このグリッドパターン2は、一対のマスクング部21および22と、マスクング部21と22との間に配置されたグリッドとを含む。このようなグリッドパターン2は、グリッドの配列方向(長手方向)と直交するグリッドの幅方向からグリッドを挟むように、一対のマスクング部21および22を設けることによって実現できる。

【0168】

ここでは、マスクング部21と22との間隔は、スリットの間隔 d である。したがって、スリットの間隔 d を適切な値とすることにより、検出感度を向上させることができる。

【0169】

(第5の実施の形態)

図41、42は、本発明の第5の実施形態に係る検査装置の構成を説明する概

略側面図である。スリットで光線の広がりを抑える代わりに、レーザー光のような幅の狭い平行光を帯状に照射する光源を用いてもよい。または、レンズなどを用いて照明光を集光させて照射幅を狭め、さらに平行光にして照射する方法を用いてもよい。

【0170】

具体的には、図41に示すように、光源1としてレーザー光を用い、幅の狭い帯状の平行光を、グリッドパターン2を介して検査対象物3に照射してもよい。あるいは、図42に示すように、集光レンズ25を用いて照明光を集光させて照射幅を狭め、さらにコリメートレンズ26によって平行光にして照射してもよい。

【0171】

上記の説明においては、ガラス板を検査対象として本発明を説明してきたが、本発明はこれに限られるものではない。ガラス板の他に、樹脂等の他の透明板状体あるいは光沢のある板状体についても本発明を適用できる。

【0172】

また、本発明による評価装置および評価方法が適用可能な透明板状体は、必ずしも平板に限られるものではなく、パネルなどのように、ゆるやかな曲率を有している板でもよい。また透明板状体または光沢のある板状体は、適宜切断された板材でも、連続的に供給される板材でもよい。さらに本発明による評価装置および方法は、透光性を有していれば半透明な板にも適用可能である。

【0173】

一方、上記の実施の形態および実施例においては、ラインセンサカメラによって撮像された画像データを用いて本発明を説明したが、本発明は、マトリックスカメラによって撮像された画像データの処理にも適用することができる。

【0174】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、画素の配列パターンとグリッドパターン像との規則的な対応関係にずれが生じた場合であっても、透明板状体に含まれる欠点および屈折力、そして光沢のある板状体の表面平坦度の不均一性を求める

ことができる。

【0 1 7 5】

また、高精度なピッチおよび幅の微小グリッドおよびテレセントリックレンズを要求しないため、装置全体を安価なシステムとして構築することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の評価装置を示す概略構成図である。

【図 2】

本発明の評価装置を示す斜視図である。

【図 3】

搬送方向の下流から見た評価装置の概略端面図である。

【図 4】

搬送方向の側面から見た評価装置の概略側面図である。

【図 5】

搬送方向の下流から見た評価装置の概略端面図である。

【図 6】

搬送方向の側面から見た評価装置の概略側面図である。

【図 7】

評価装置の概略平面図である。

【図 8】

本発明の他の評価装置を示す概略構成図である。

【図 9】

CCD画素とグリッドとの対応関係を説明する図である。

【図 1 0】

CCD画素とグリッドとのずれを説明する概念図である。

【図 1 1】

グリッドパターンを5 0 0 0画素のラインセンサカメラで撮像した際の出力のグレイ画像データの1～1 2 0 0画素の部分を表示するグラフである。

【図 1 2】

符号の割当てを説明する概念図である。

【図 13】

符号の割当てを説明する概念図である。

【図 14】

位相角速度のグラフの一例を示す図である。

【図 15】

グレーデータのグラフの一例を示す図である。

【図 16】

図 10 のグラフの一部拡大図である。

【図 17】

画像処理の手順を示すフローチャートである。

【図 18】

画像処理の手順を示すフローチャートである。

【図 19】

画像処理の手順を示すフローチャートである。

【図 20】

A 相、B 相の正弦波のグラフの一例を示す図である。

【図 21】

A 相、B 相の正弦波によって求められるリサージュ図形の一例を示す図である。

【図 22】

リサージュ図形上での位相角度のグラフの一例を示す図である。

【図 23】

位相角速度のグラフの一例を示す図である。

【図 24】

画像処理の手順を示すフローチャートである。

【図 25】

画像処理の手順を示すフローチャートである。

【図 26】

画像処理の手順を示すフローチャートである。

【図 27】

画像処理の手順を示すフローチャートである。

【図 28】

画像処理の手順を示すフローチャートである。

【図 29】

画像処理の手順を示すフローチャートである。

【図 30】

A相～D相の正弦波のグラフの一例を示す図である。

【図 31】

位相角度のグラフの一例を示す図である。

【図 32】

位相角速度のグラフの一例を示す図である。

【図 33】

角速度（レンズパワー）を積算したグラフの一例を示す図であり、レンズ作用による光の屈折角度を示す。

【図 34】

本発明の第3の実施形態に係る検査装置の構成を説明する概略側面図である。

【図 35】

図29の検査装置において、撮像手段4の位置から照明1側を見た平面図である。

【図 36】

スリット体10の配置例を説明する概略側面図である。

【図 37】

スリット体10の配置例を説明する概略側面図である。

【図 38】

スリット体10の配置例を説明する概略側面図である。

【図 39】

光学的歪みの屈折力のスリットによる影響を示すグラフである。

【図 40】

第4の実施の形態に係るグリッドパターンの概略平面図である。

【図 41】

本発明の第5の実施形態に係る検査装置の構成を説明する概略側面図である。

【図 42】

本発明の第5の実施形態に係る検査装置の構成を説明する概略側面図である。

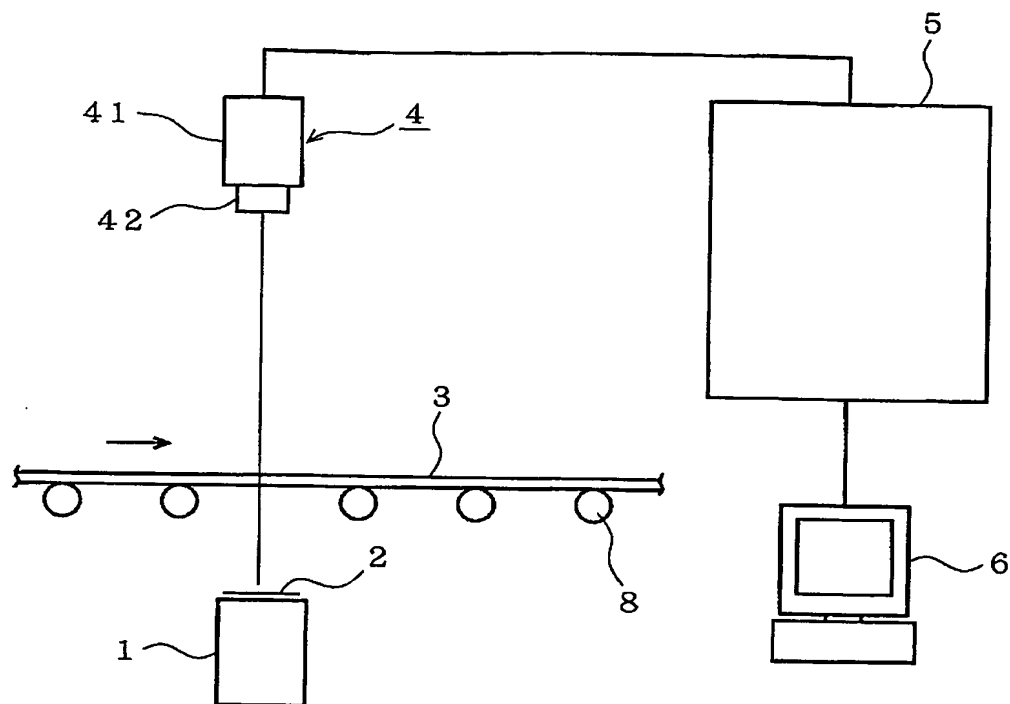
【符号の説明】

- 1 光源
- 2 グリッドパターン
- 3 ガラス板
- 4 撮像手段
- 5 画像処理手段
- 6 表示手段
- 7 光軸
- 8 搬送手段
- 10 スリット体
- 11, 12 遮光部
- 21, 22 マスキング部
- 25 集光レンズ
- 26 コリメートレンズ
- 41 ラインセンサカメラ
- 42 レンズ

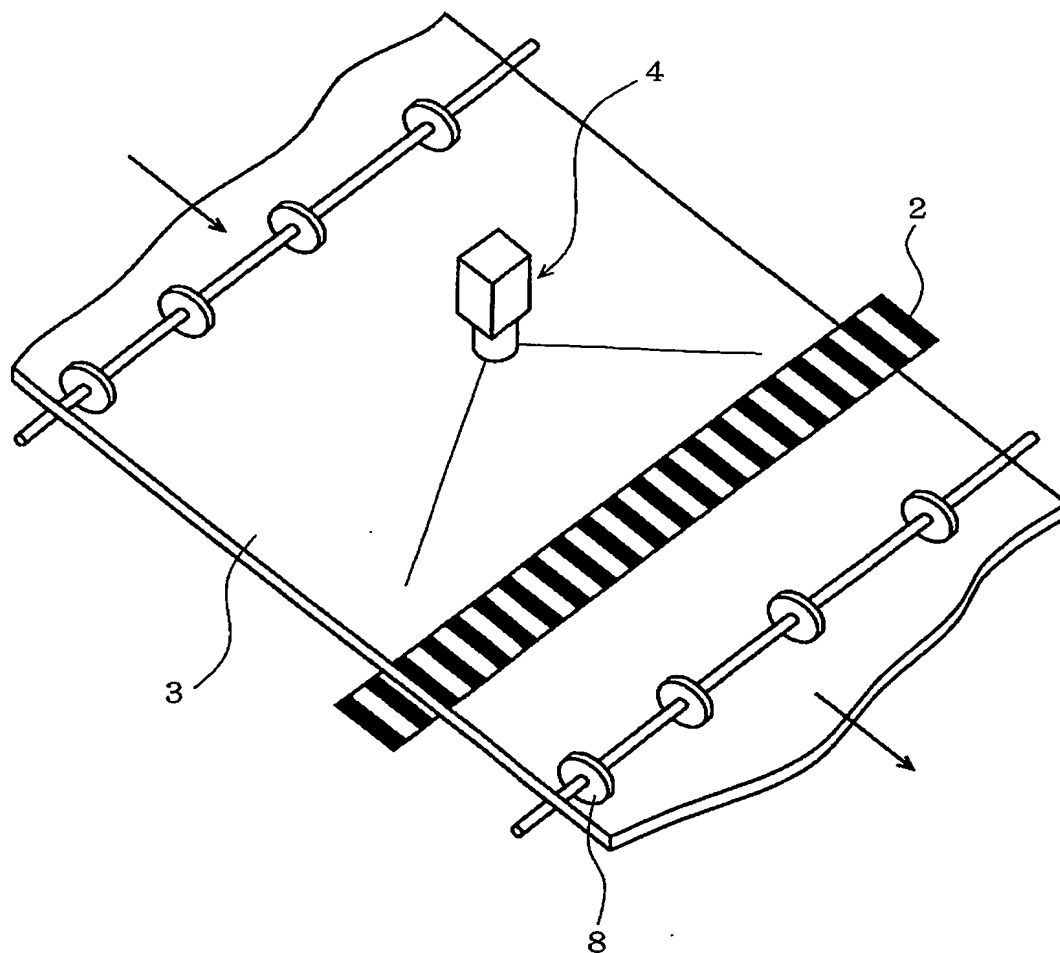
【書類名】

図面

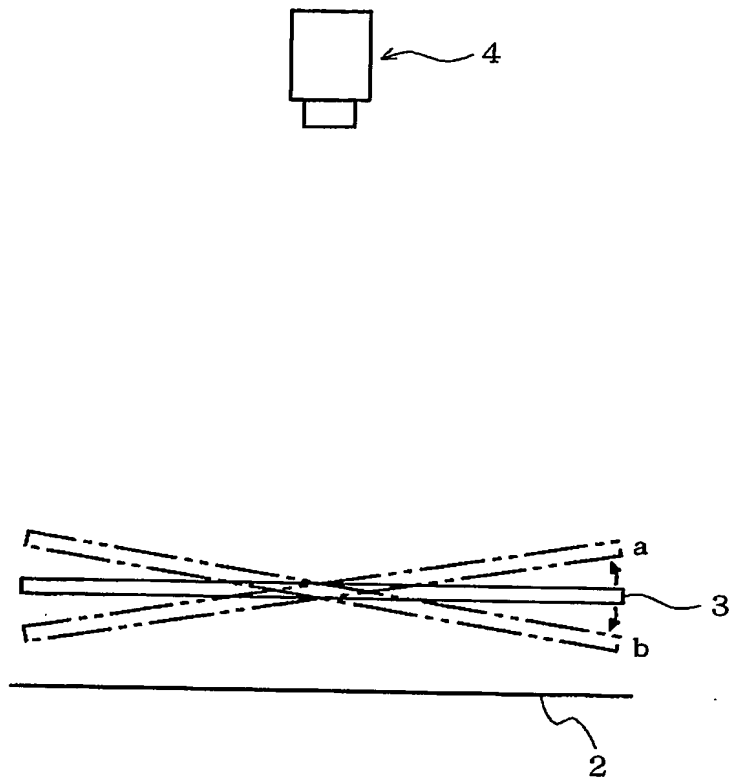
【図 1】



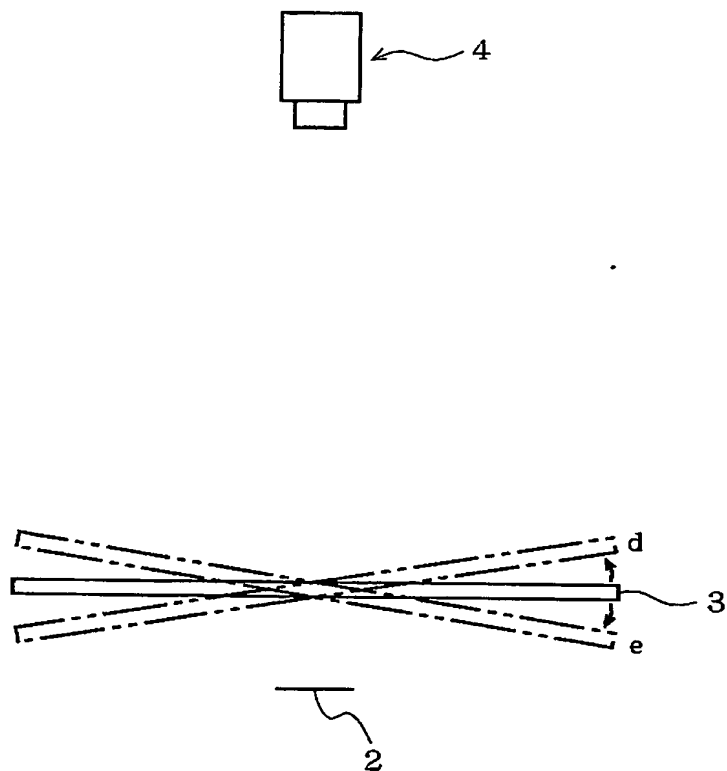
【図 2】



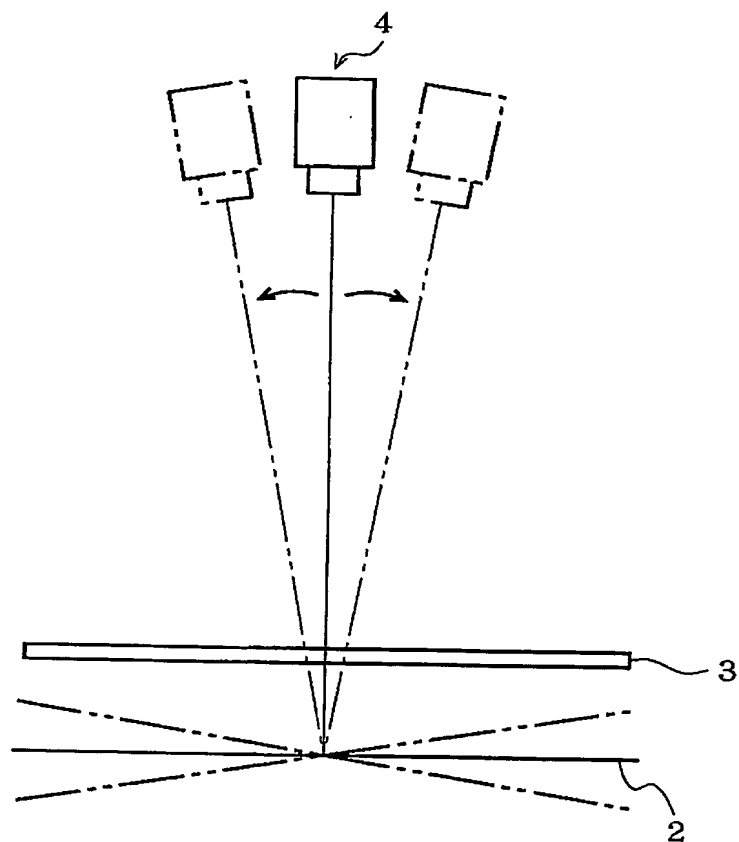
【図 3】



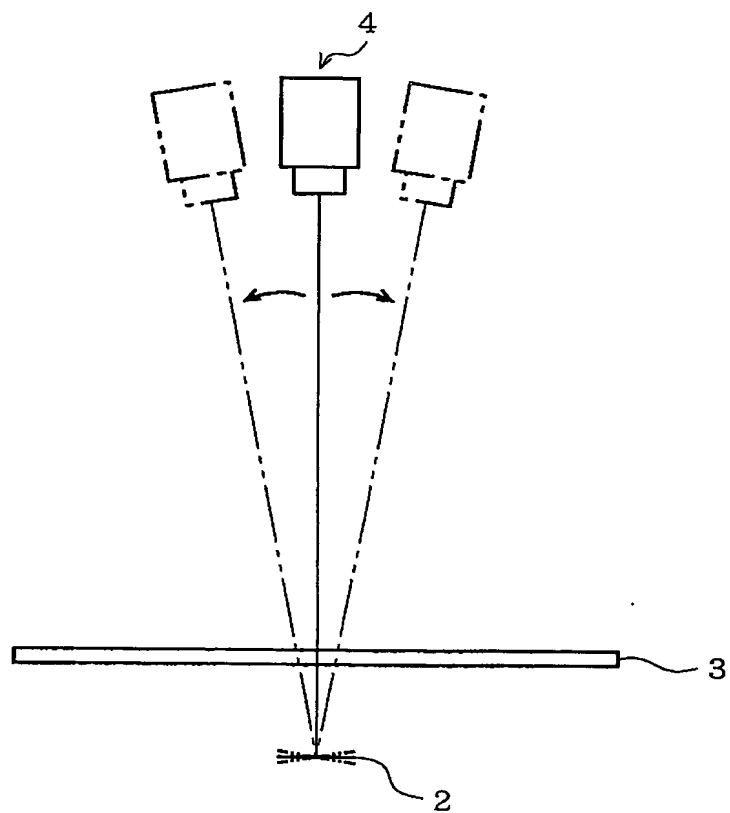
【図 4】



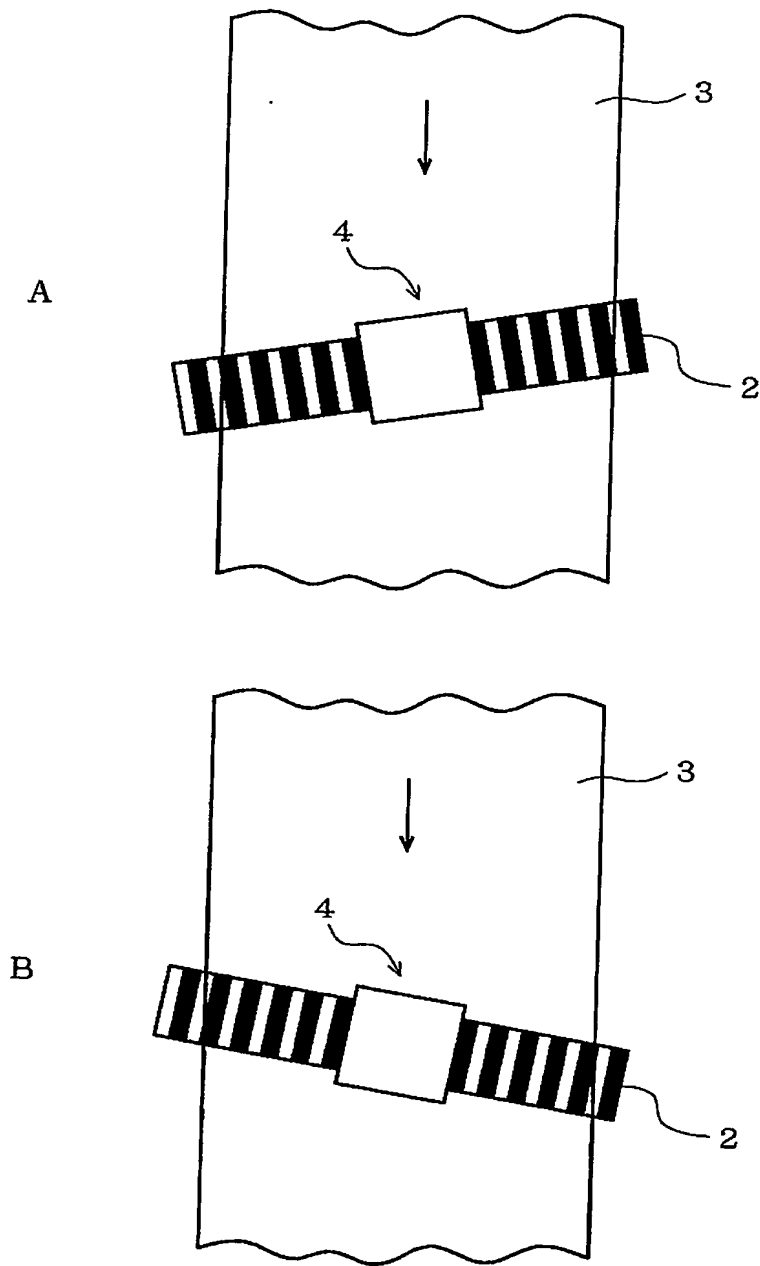
【図 5】



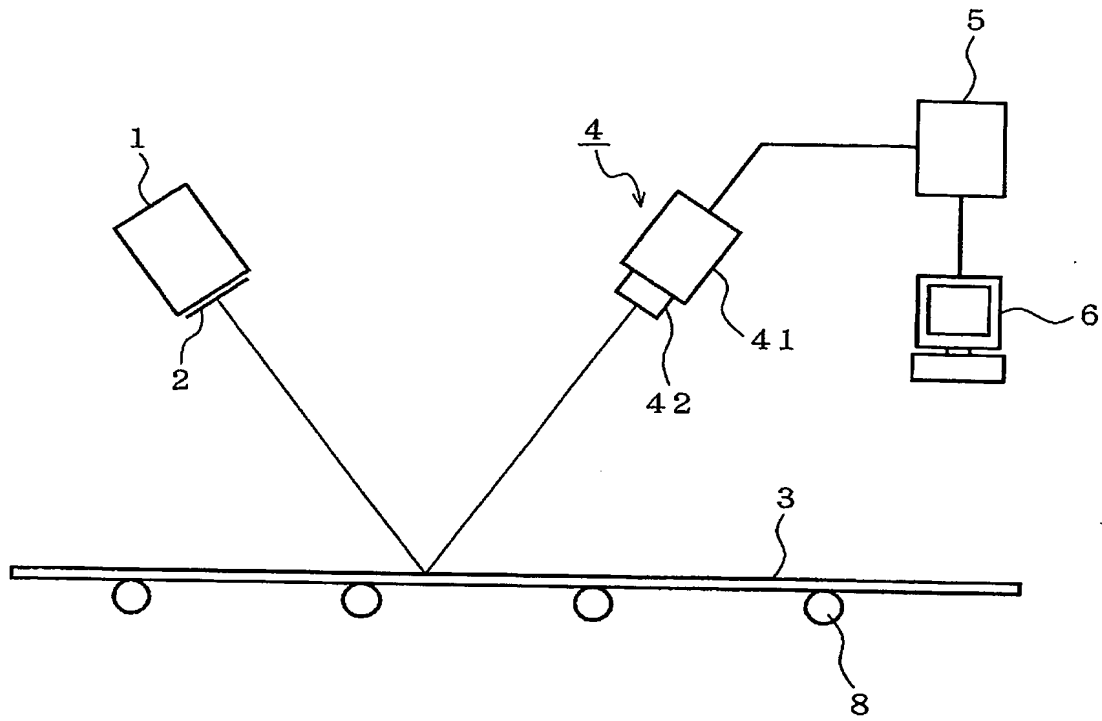
【図 6】



【図 7】



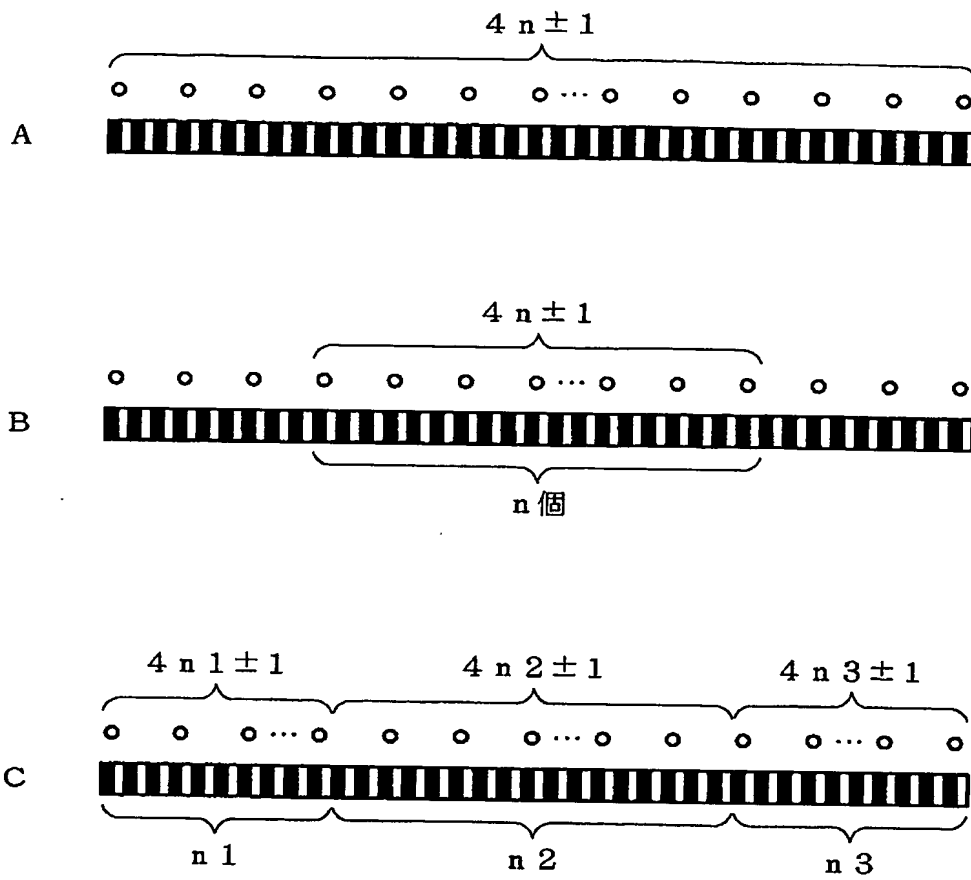
【図 8】



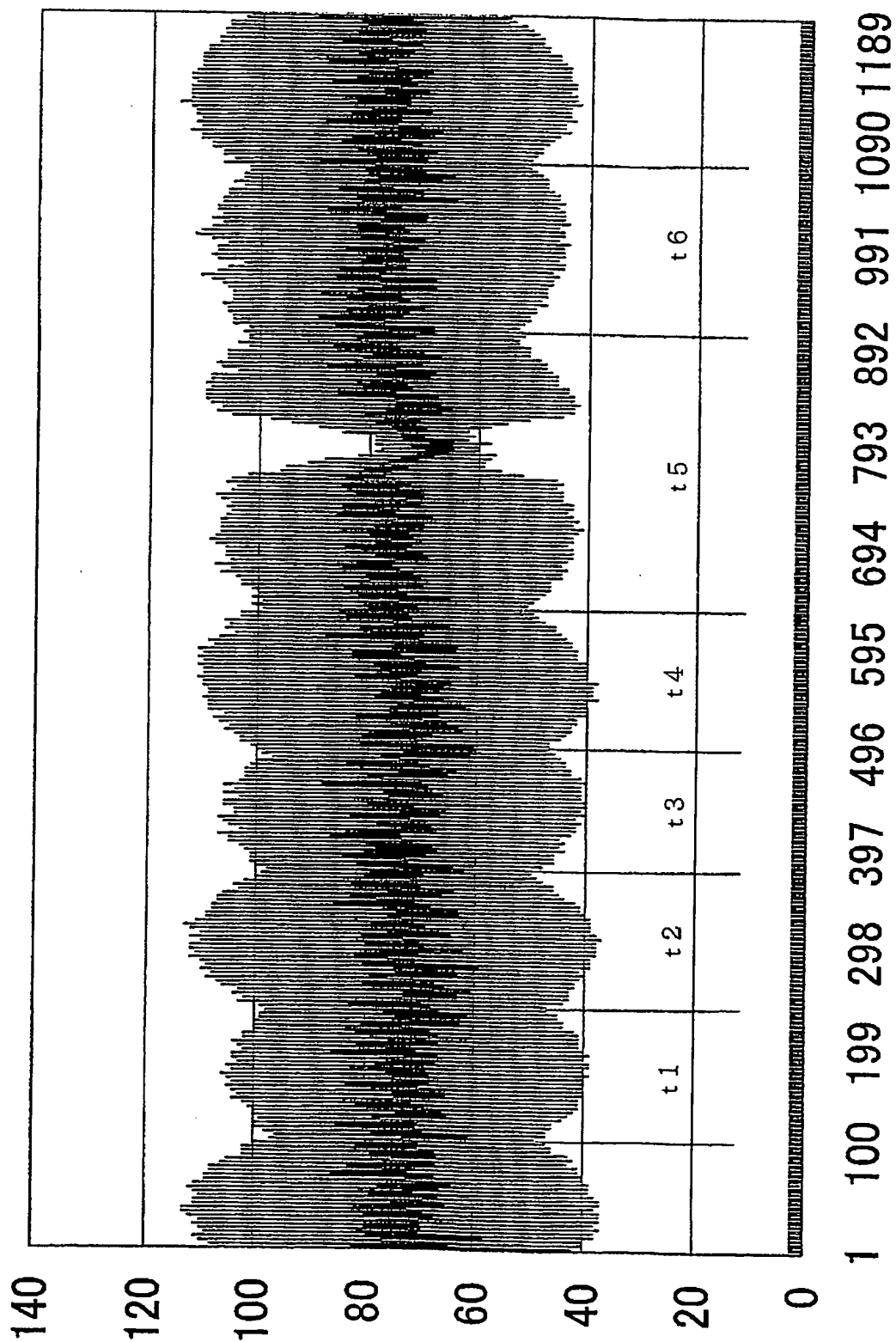
【図 9】



【図 10】

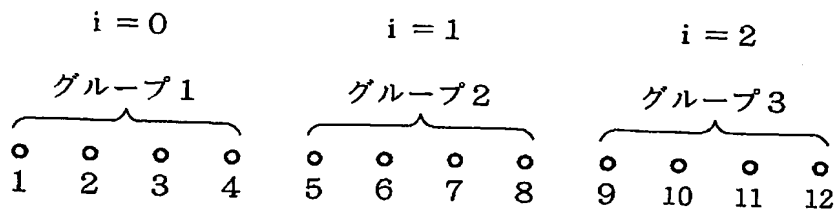


【図 11】



【図 12】

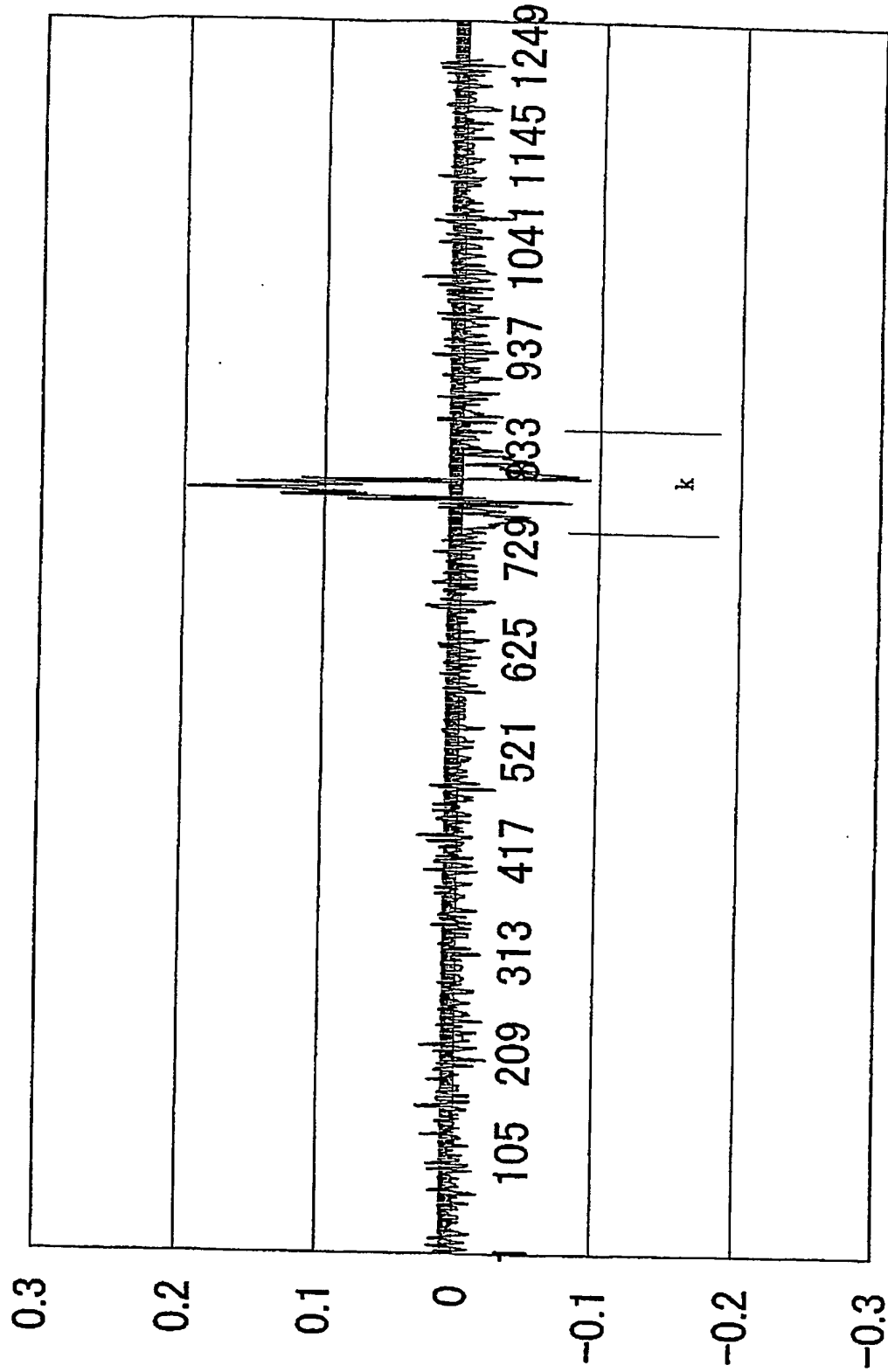
$X=4$ の場合



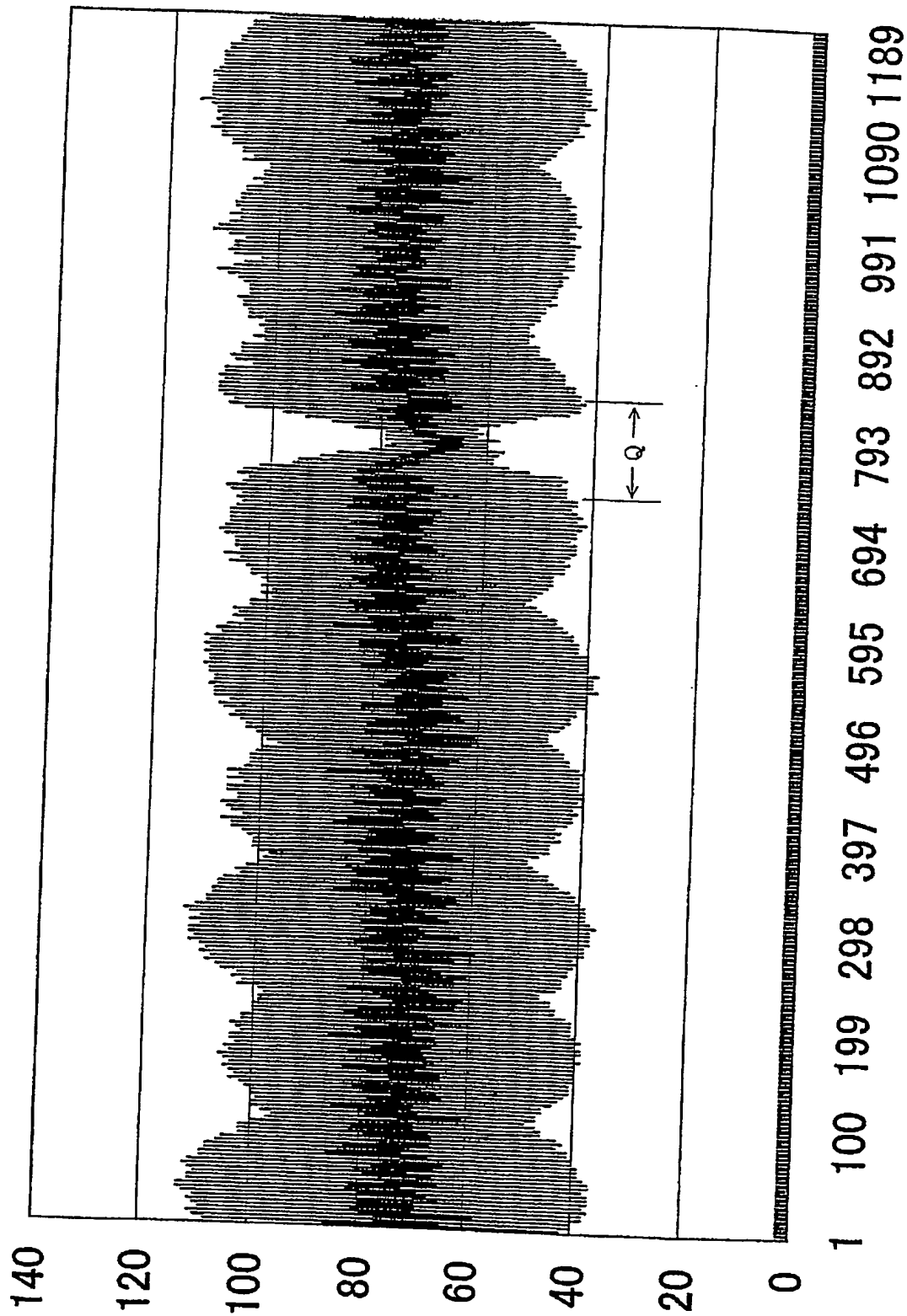
【図 13】

	C_{4i+1}	C_{4i+2}	C_{4i+3}	C_{4i+4}
A 波用	+	+	-	-
B 波用	+	-	-	+
A 波用	-	+	+	-
B 波用	+	+	-	-

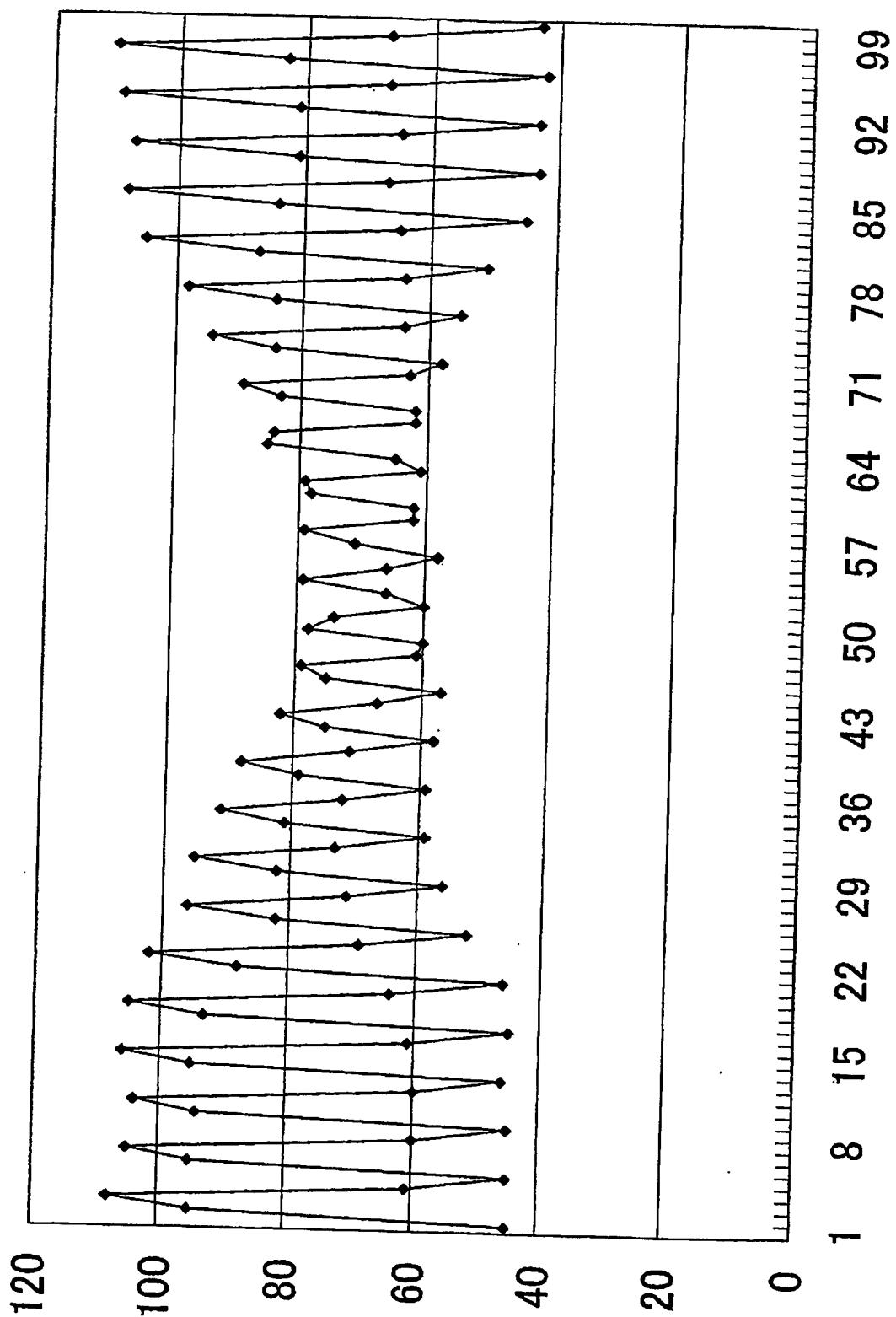
【図 14】



【図 15】



【図16】

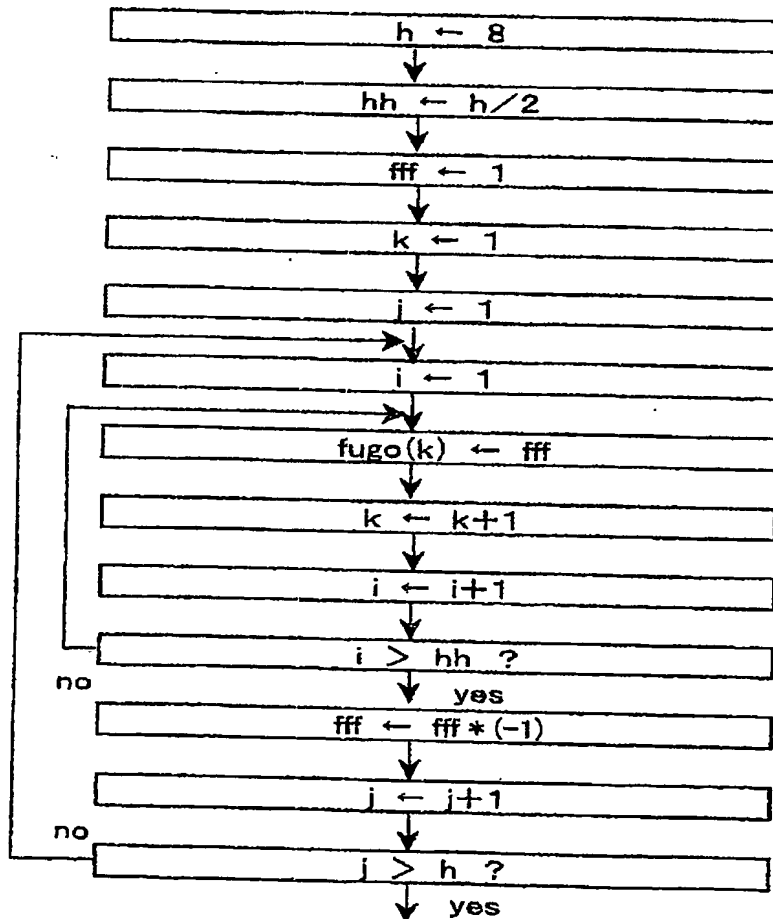


【図 17】

ソフト処理 フローチャート

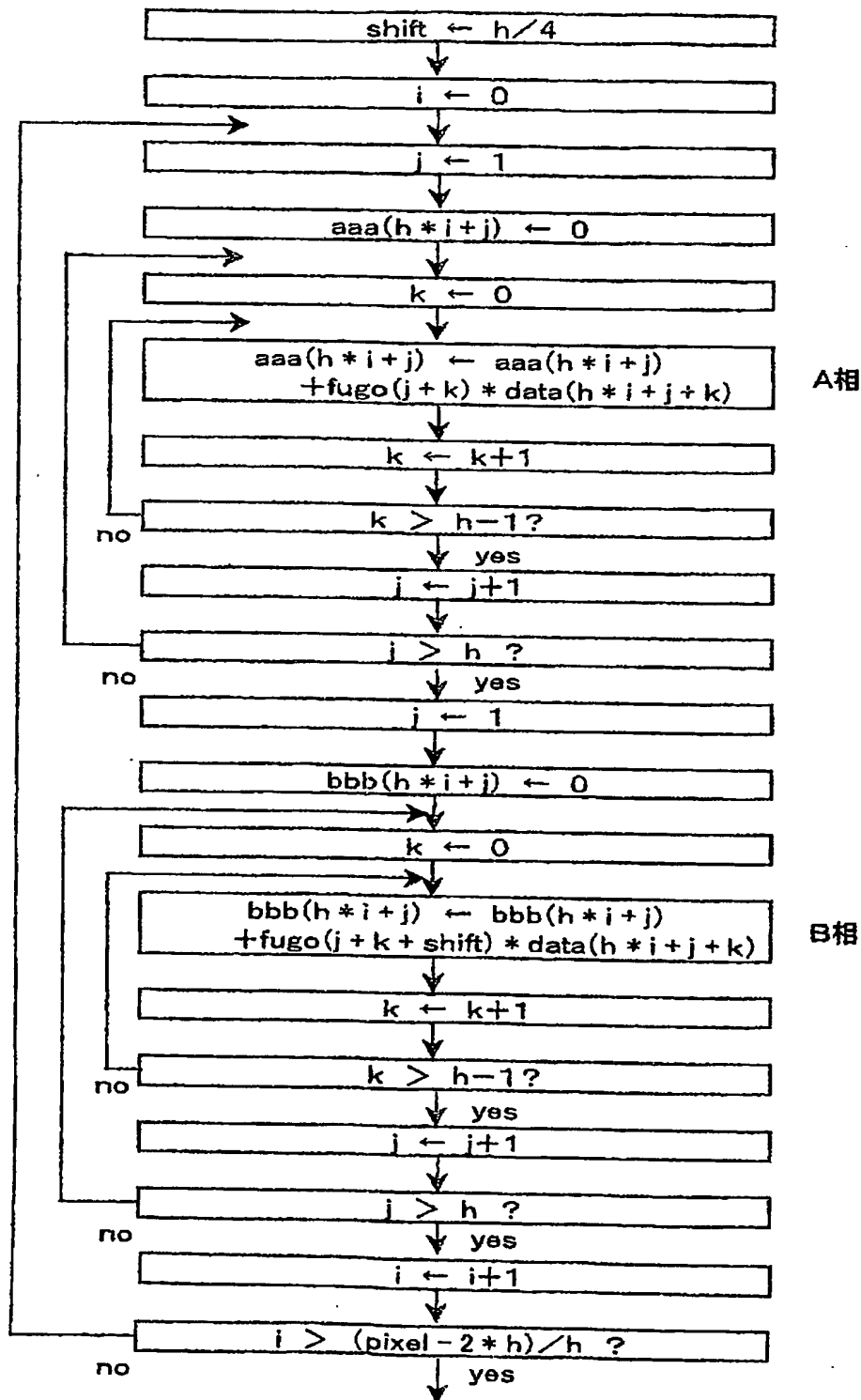
h: 1ピッチ当たりの画素数
 fugo: 元の画像データを演算するための符号
 shift: 90° シフトしたサイン波を生成するための演算のシフト量
 data: 元の画像データ
 aaa: A相サイン波データ
 bbb: B相サイン波データ
 ccc: リサージュ図形上での位相角度
 ddd: 角速度
 pixel: 処理する画素数

ステップ1 符号の生成 $++++-----++++-----++++-----$ の生成



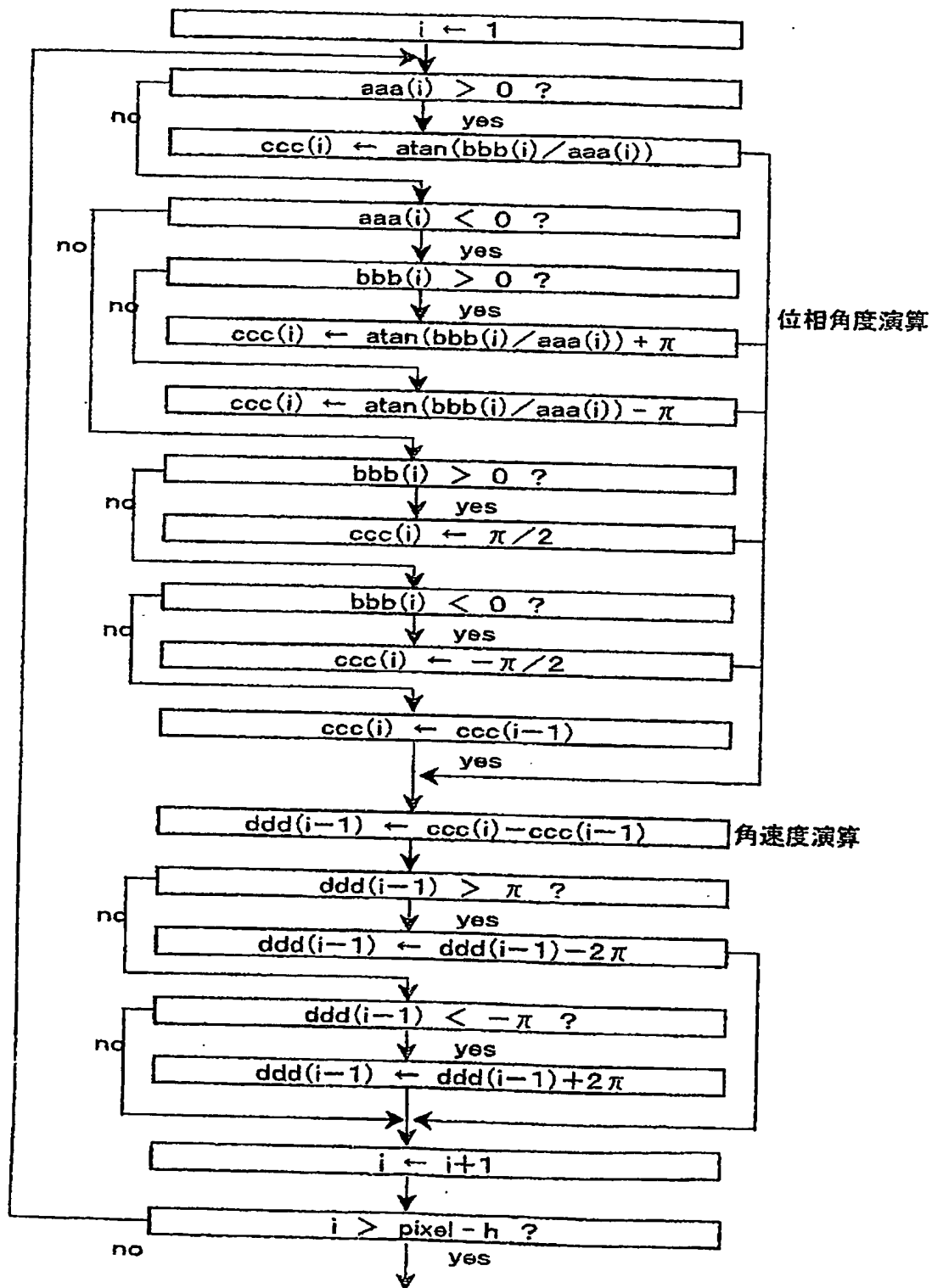
【図18】

ステップ2 A相、B相のサイン波の生成

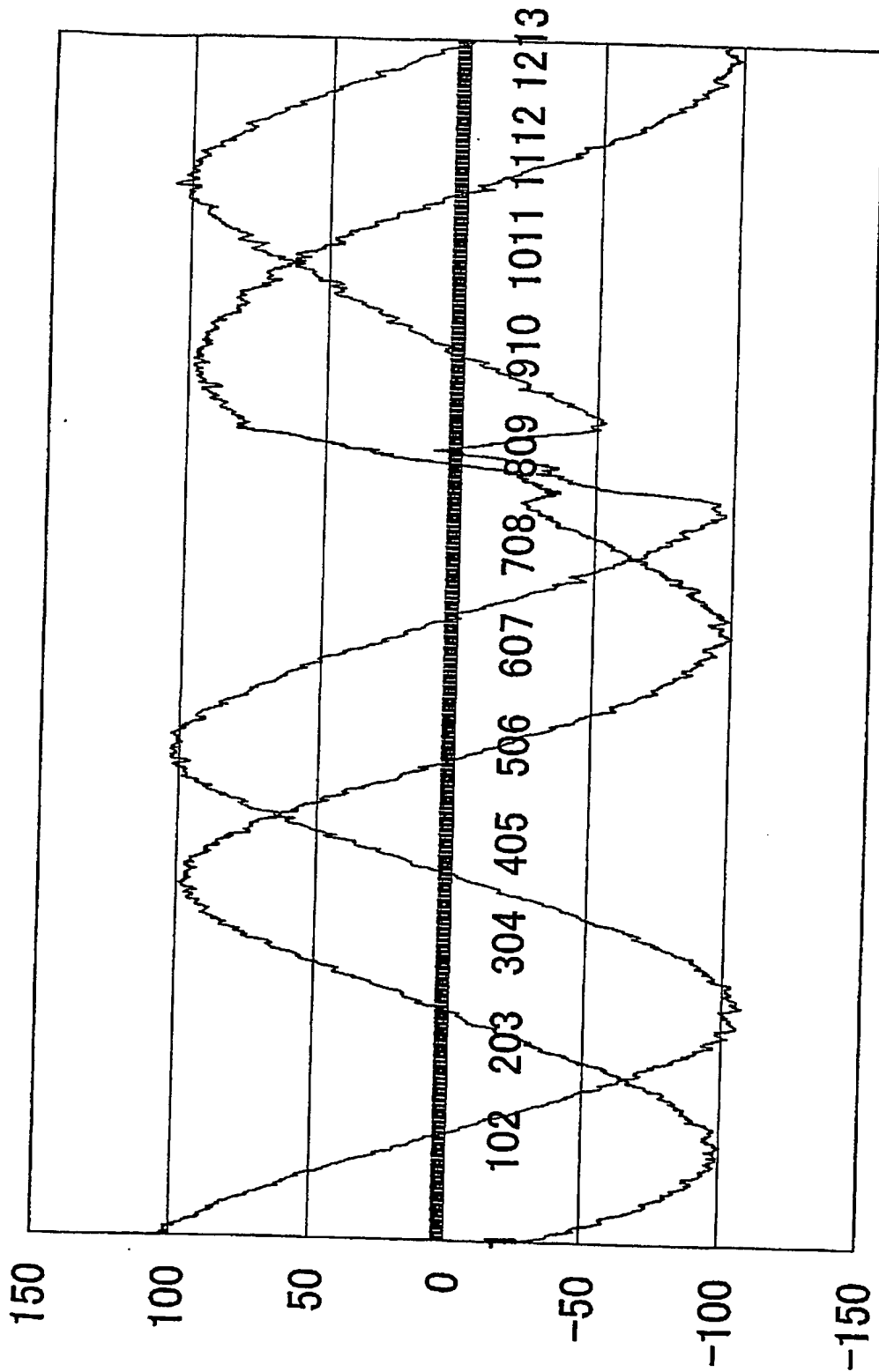


【図 19】

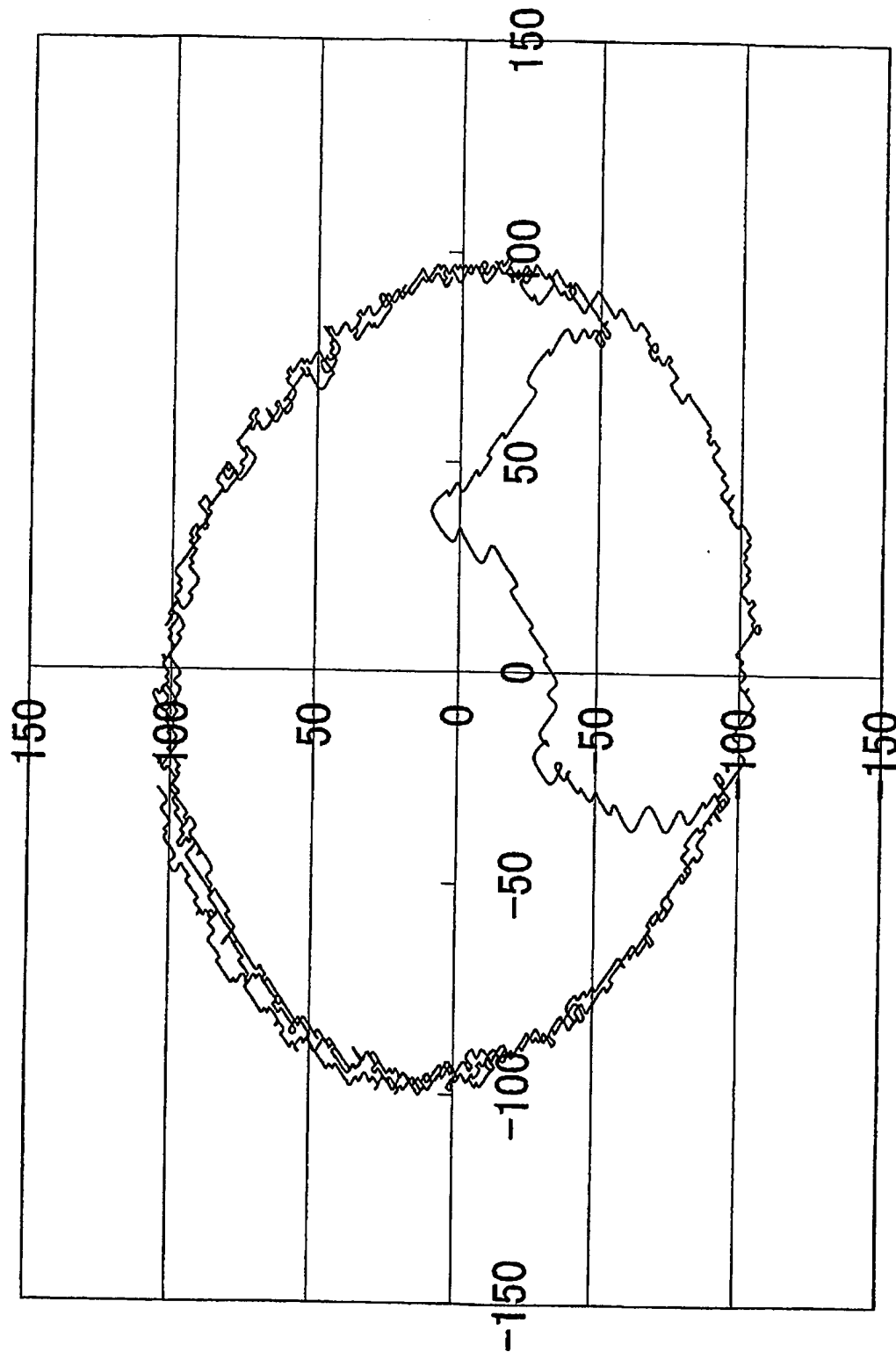
ステップ3 位相角度、角速度の演算



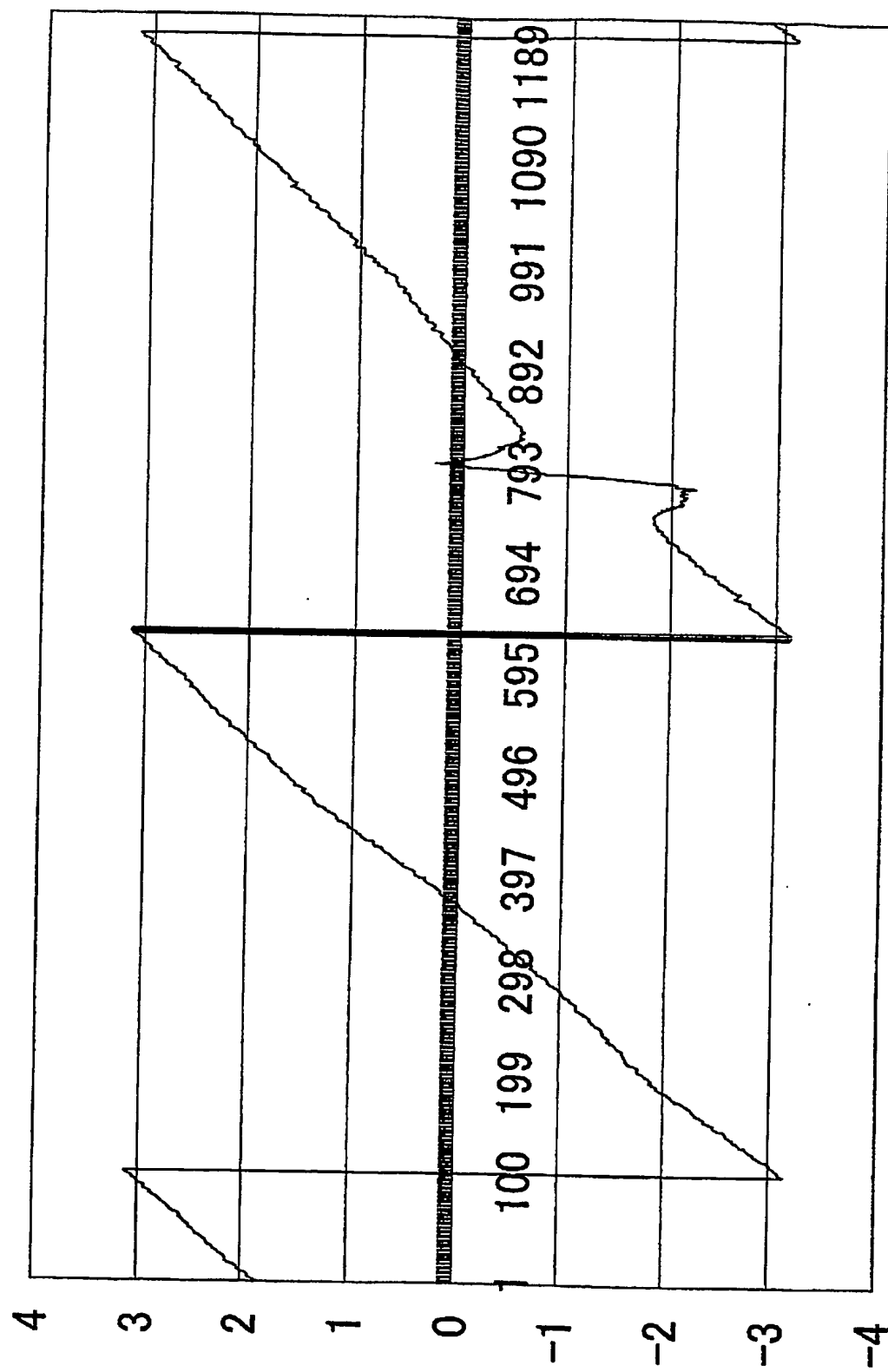
【図 20】



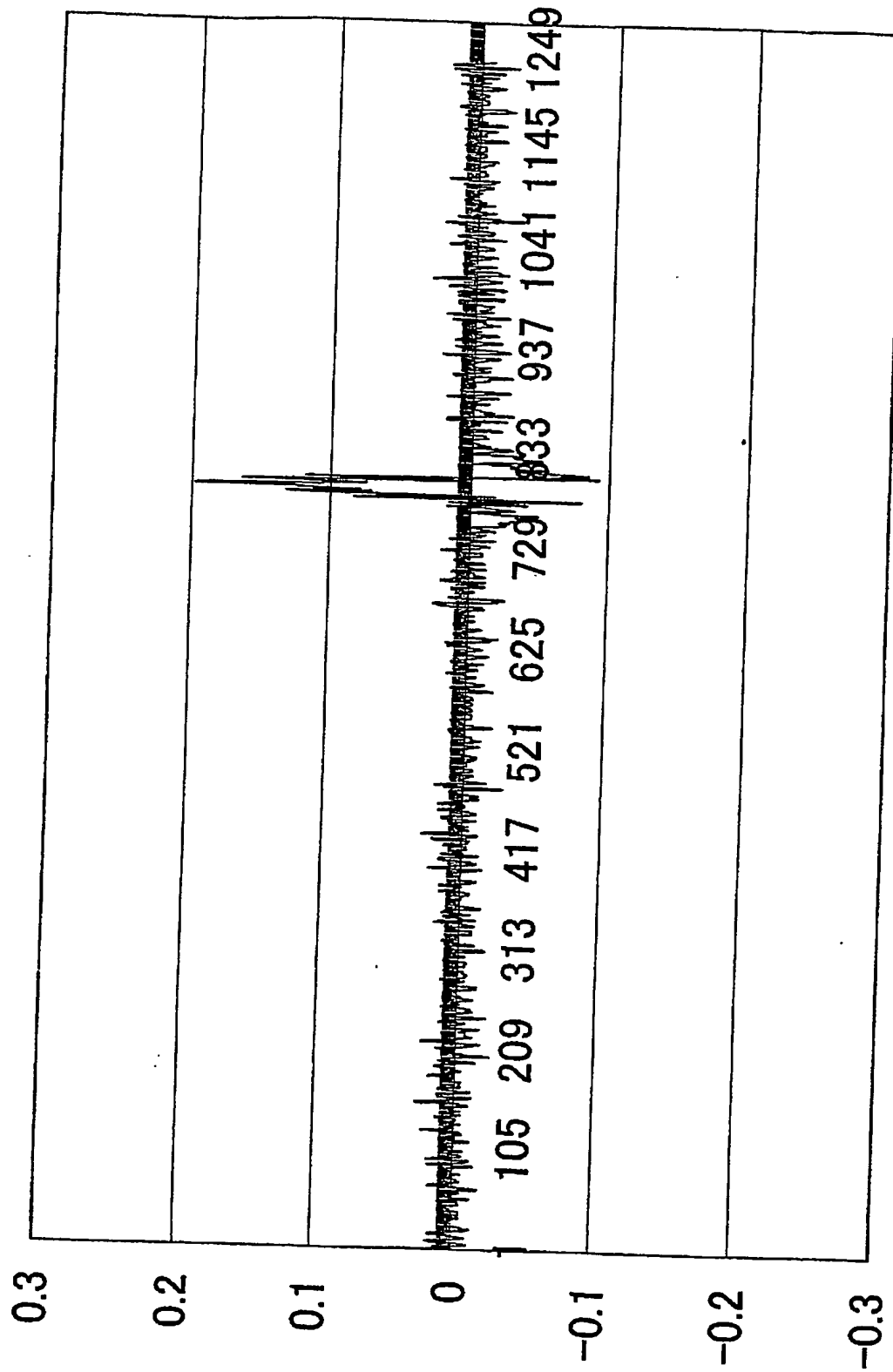
【図 21】



【図 22】



【図 23】

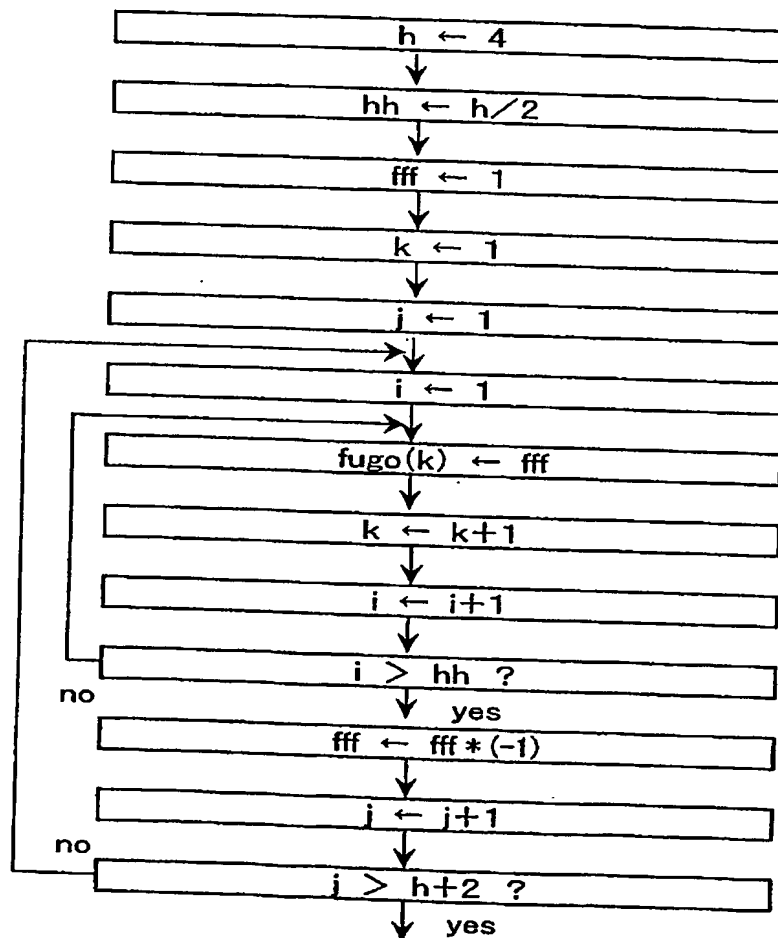


【図 24】

ソフト処理 フローチャート(A相、B相、C相、D相)

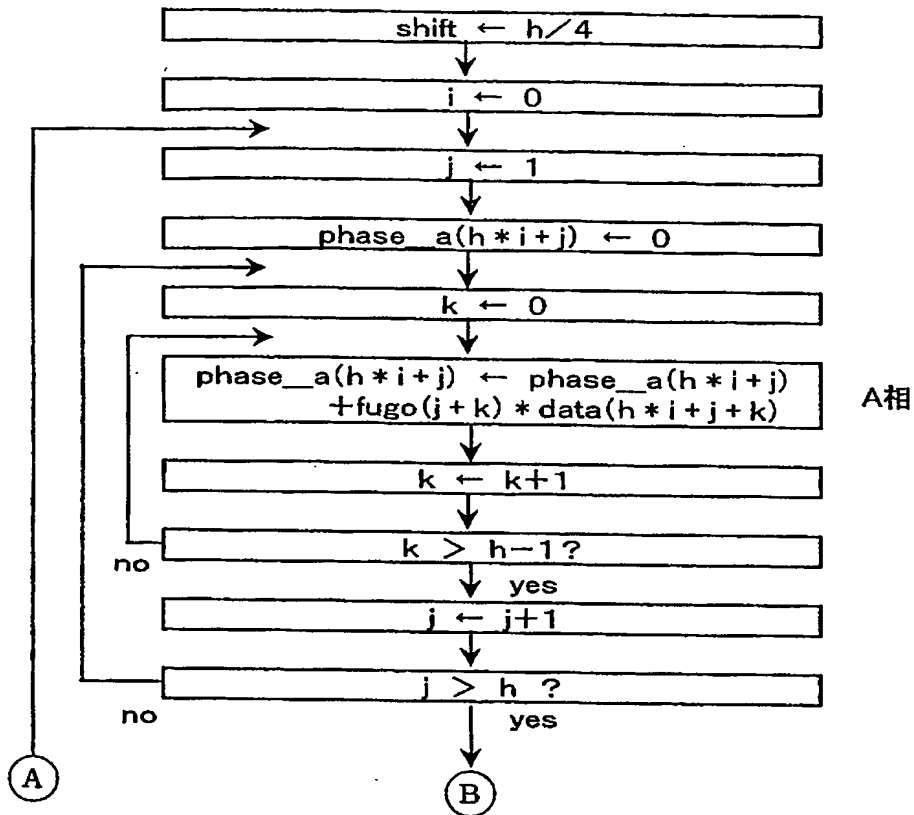
h: 1ピッチ当たりの画素数
 fugo: 元の画像データを演算するための符号
 shift: 90° シフトしたサイン波を生成するための演算のシフト量
 data: 元の画像データ
 phase_a: A相サイン波データ
 phase_b: B相サイン波データ
 phase_c: C相サイン波データ
 phase_d: D相サイン波データ
 ccc: 図形上での位相角度
 ddd: 角速度
 pixel: 処理する画素数

ステップ1 符号の生成 ++--+--+--+ の生成

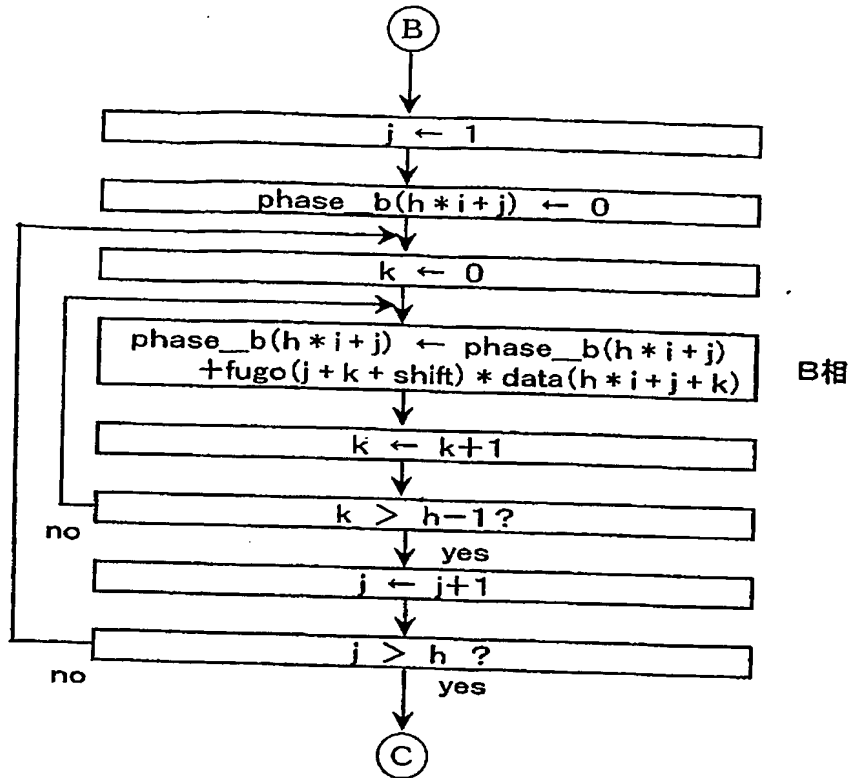


【図 25】

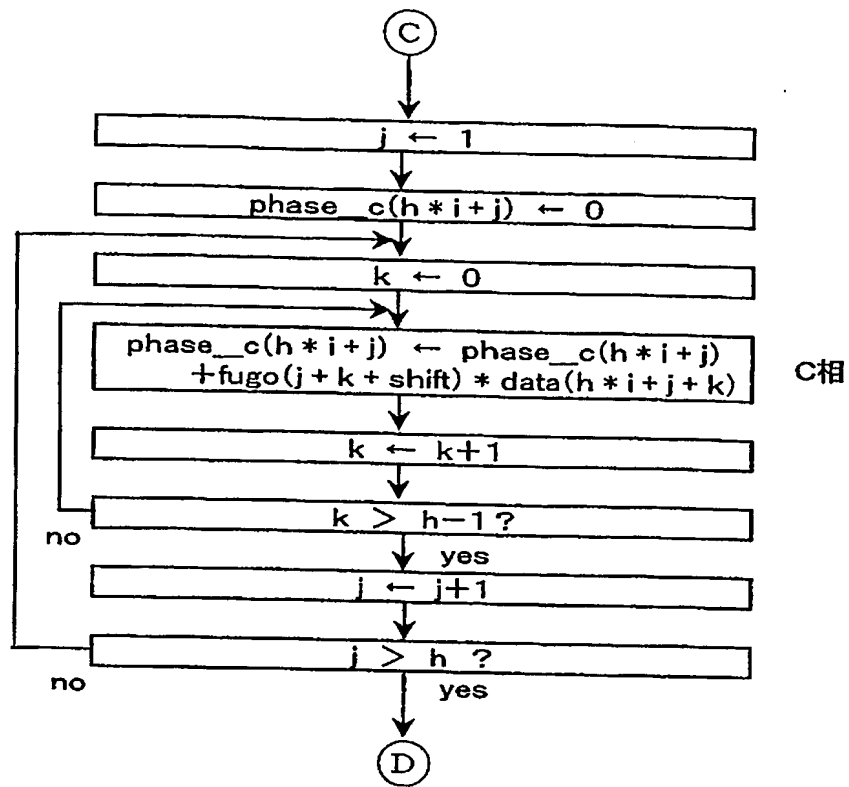
ステップ2 A相、B相、C相、D相のサイン波の生成



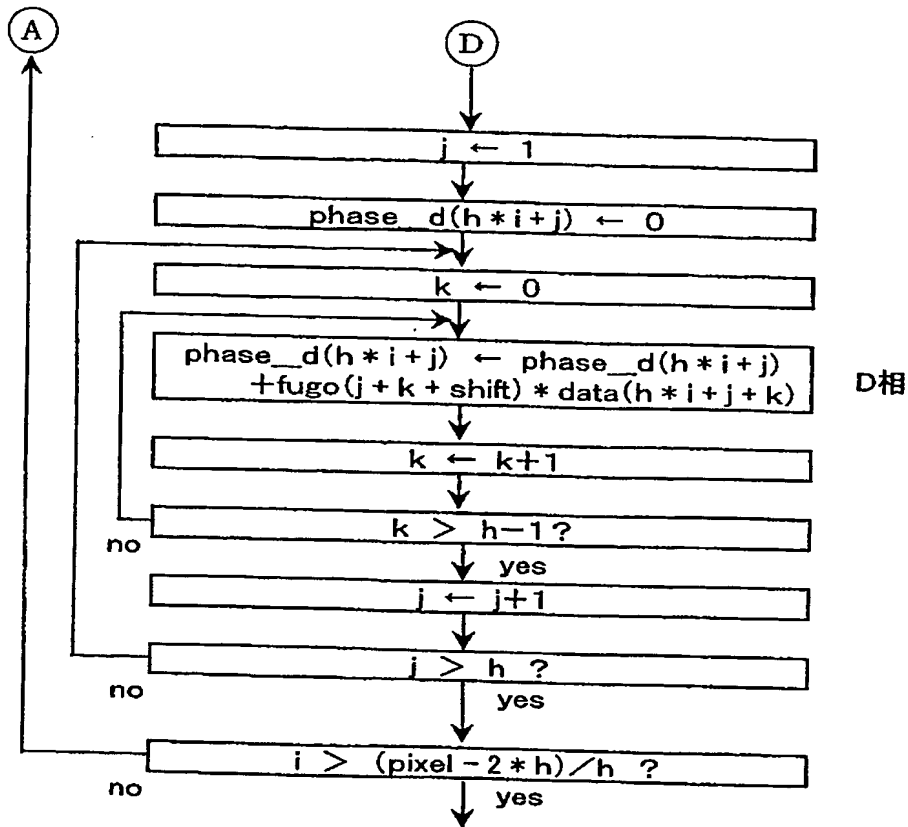
【図26】



【図 27】

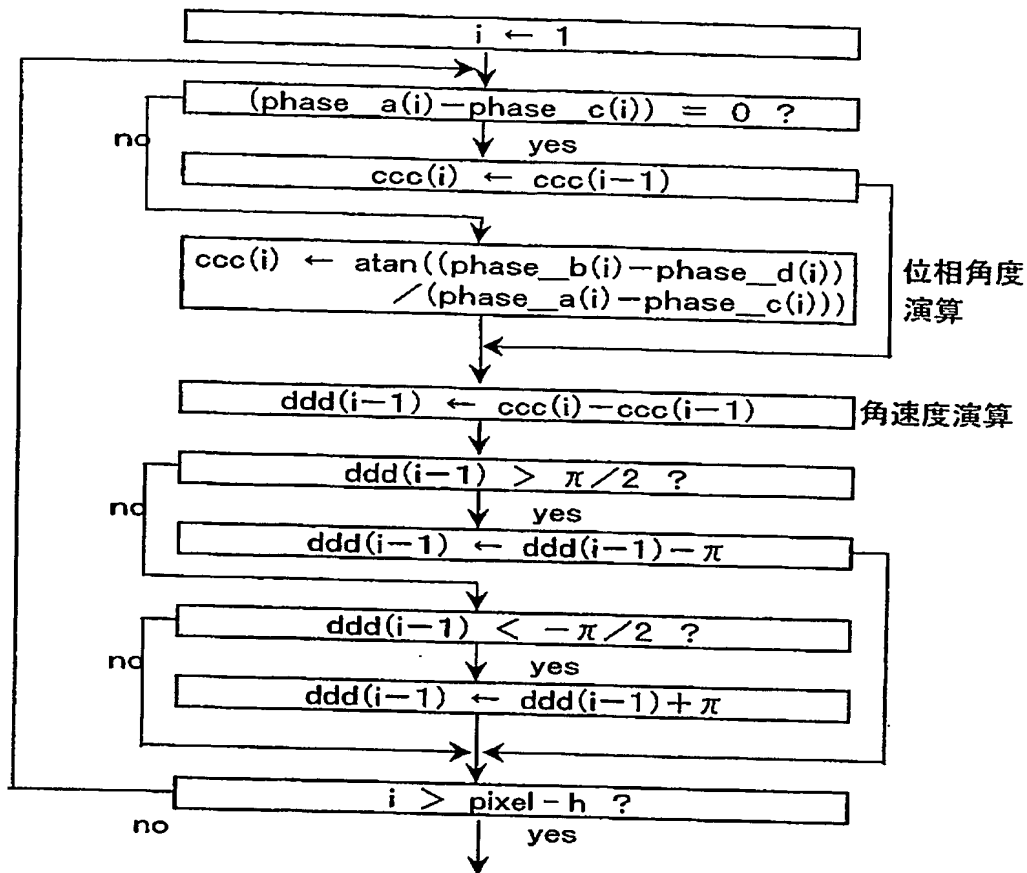


【図 28】

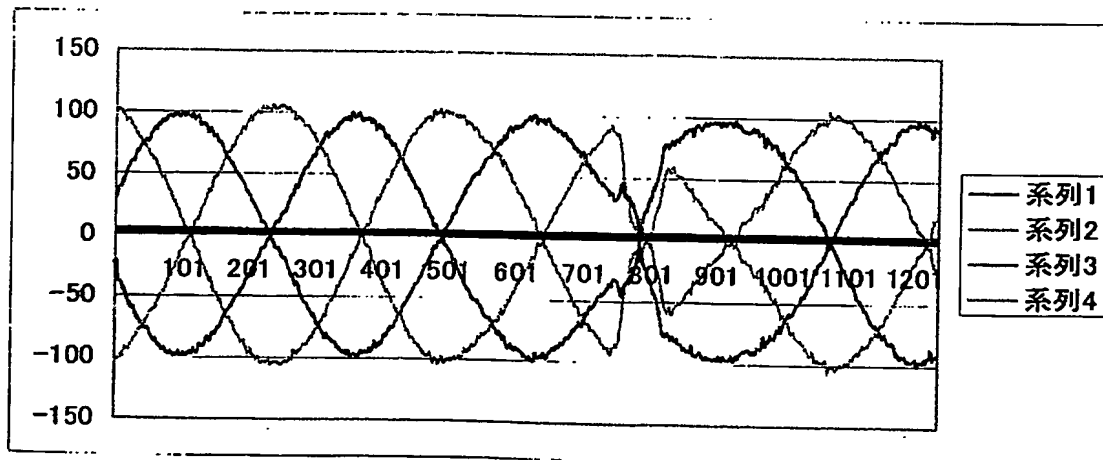


【図 29】

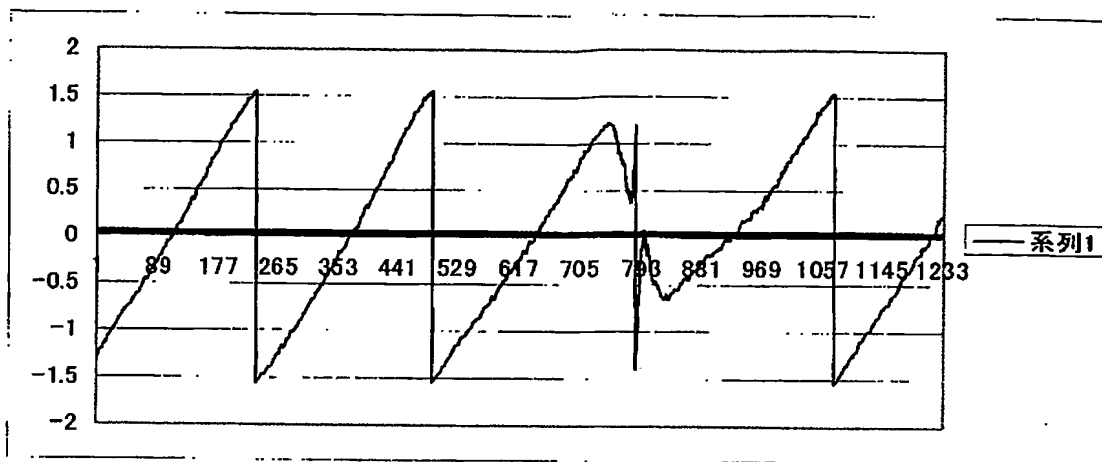
ステップ3 位相角度、角速度の演算



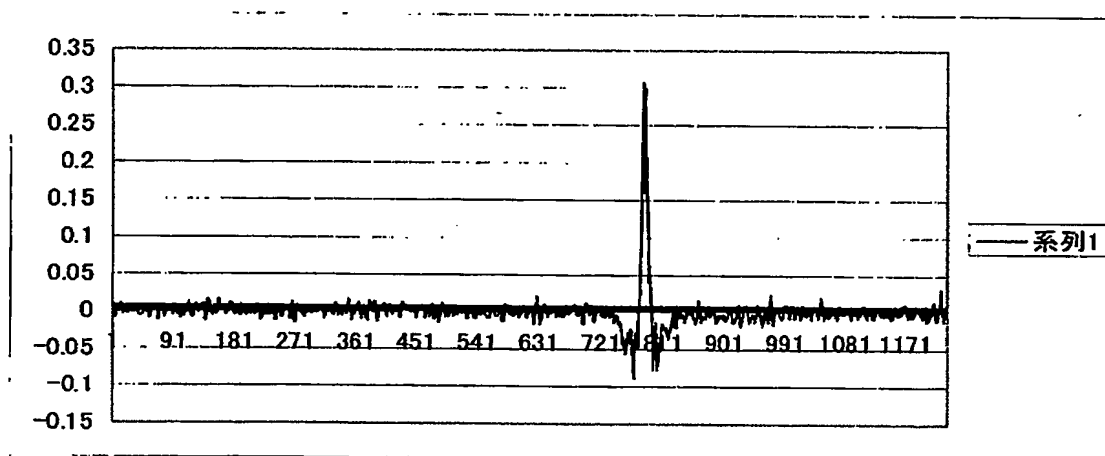
【図 30】



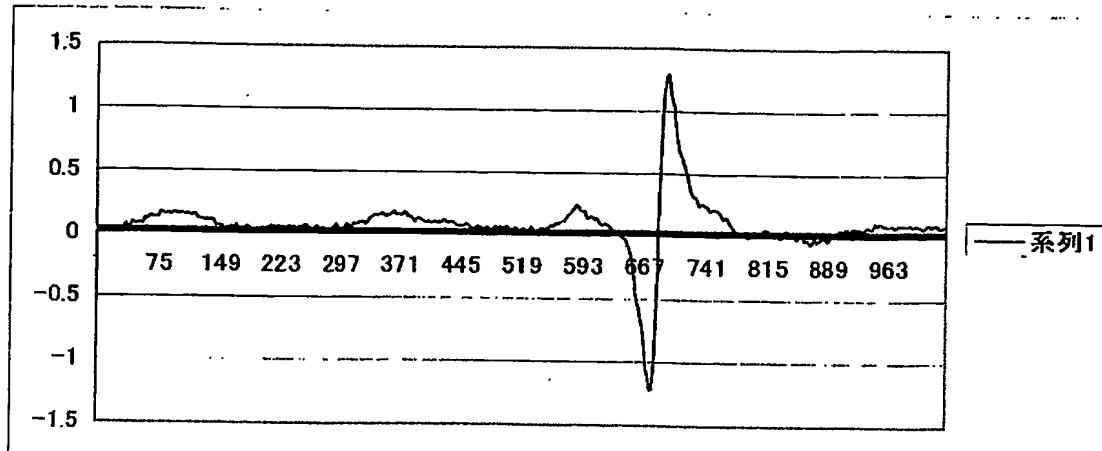
【図 3 1】



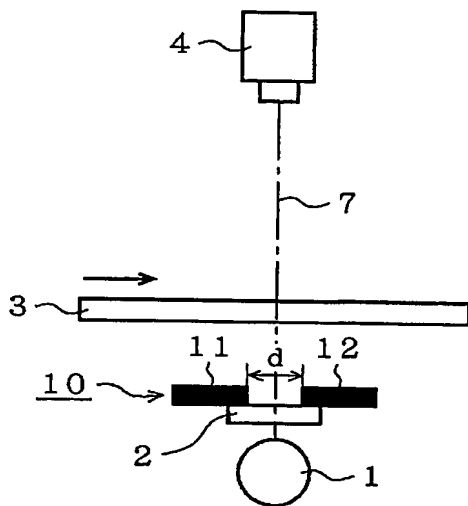
【図 3 2】



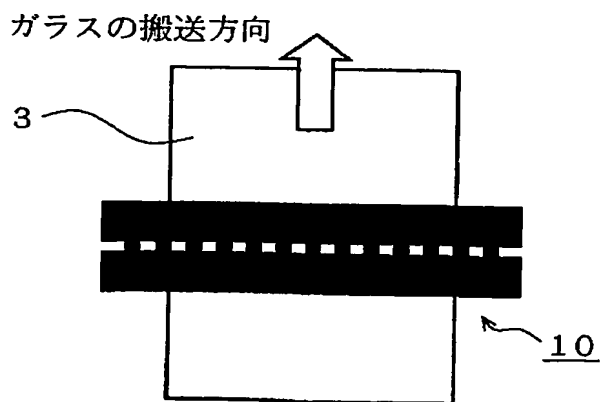
【図 3 3】



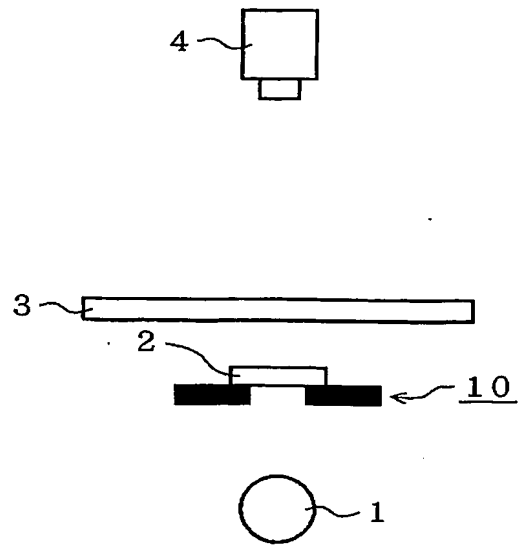
【図 3 4】



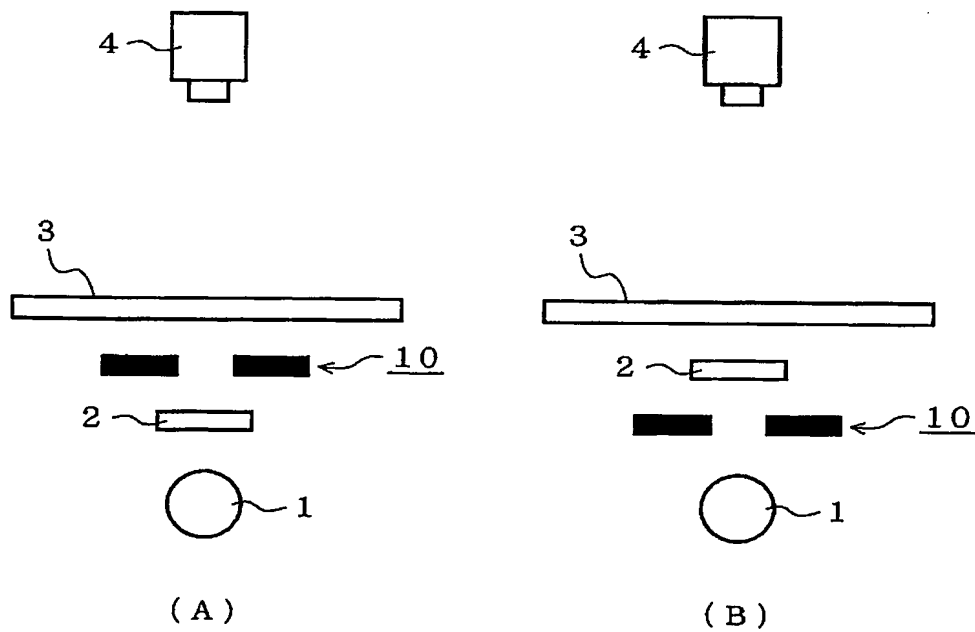
【図 3 5】



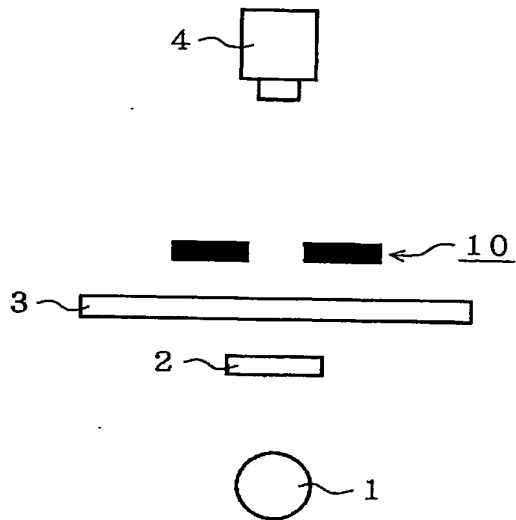
【図 36】



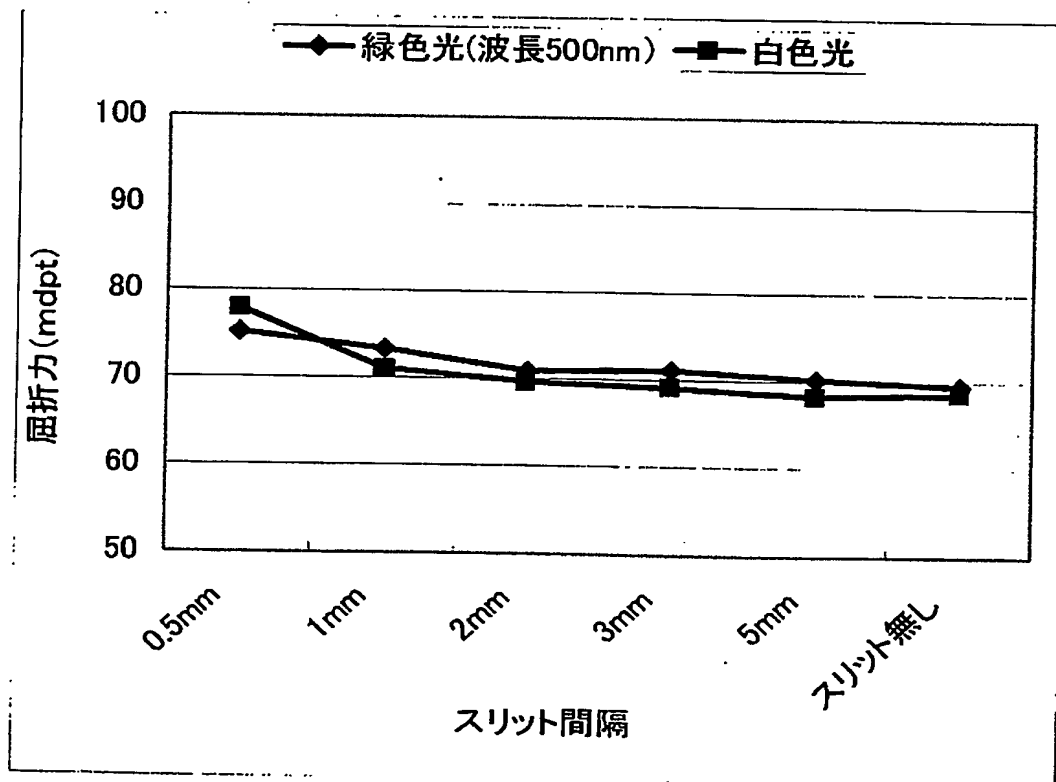
【図 37】



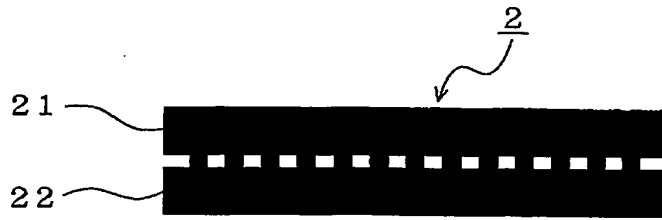
【図 38】



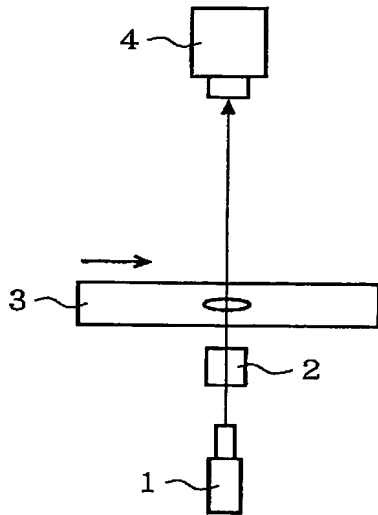
【図 39】



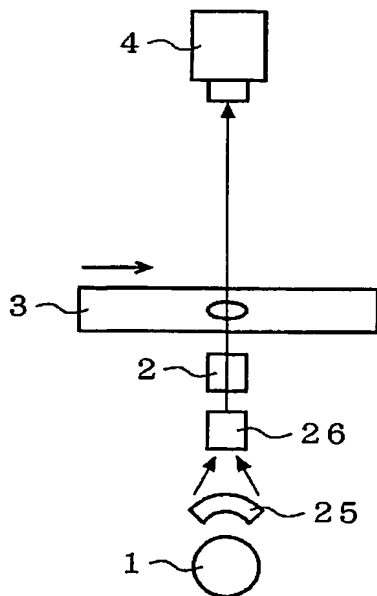
【図 40】



【図 41】



【図 42】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 透明板状体を透過する光の光学的歪みの評価装置および方法を提供する。

【解決手段】 撮像手段 4 により、ガラス板 3 を通してグリッドパターン 2 を撮像するにあたり、 n 個のグリッド（明部と暗部のペア）に対して $4n \pm \alpha$ 個の CD 画素を対応させて α 個のモアレ縞を発生させる。この状態で撮像された画像のグレーデータに基づいて、A 相の正弦波と、この A 相から 90° 位相のずれた B 相の正弦波とを生成し、これら A 相および B 相の正弦波からリサージュ図形上での各画素の位相角度を算出し、それぞれの画素の位相角度の差分である位相角速度に基づいて屈折力を算出する。

【選択図】 図 1

【書類名】 特願人名義変更届
【整理番号】 P03030
【提出日】 平成15年12月 3日
【あて先】 特許庁長官殿
【事件の表示】
【出願番号】 特願2003-174927
【承継人】
【住所又は居所】 大阪府大阪市西淀川区歌島 2-1-5
【氏名又は名称】 株式会社ナノスコープ
【代表者】 田中 一行
【承継人代理人】
【識別番号】 100086645
【弁理士】
【氏名又は名称】 岩佐 義幸
【手数料の表示】
【予納台帳番号】 000435
【納付金額】 4,200円
【提出物件の目録】
【物件名】 包括委任状 1
【援用の表示】 平成15年12月3日提出の包括委任状を援用する。

認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2003-174927
受付番号	50301992895
書類名	出願人名義変更届
担当官	鎌田 征規 8045
作成日	平成16年 1月22日

<認定情報・付加情報>

【承継人】

【識別番号】	503429939
【住所又は居所】	大阪府大阪市西淀川区歌島2丁目1番5号
【氏名又は名称】	株式会社 ナノスコープ

【承継人代理人】

【識別番号】	100086645
【住所又は居所】	東京都千代田区東神田2丁目10番17号 IN ビル 岩佐特許事務所
【氏名又は名称】	岩佐 義幸

出願人履歴情報

識別番号

[000004008]

1. 変更年月日

2000年12月14日

[変更理由]

住所変更

住所

大阪府大阪市中央区北浜四丁目7番28号

氏名

日本板硝子株式会社

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[503011468]

1. 変更年月日

2002年12月27日

[変更理由]

新規登録

住 所

京都府京都市伏見区竹田浄菩提院町301番地

氏 名

有限会社ナノスコープ

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[503429939]

1. 変更年月日

2003年11月21日

[変更理由]

新規登録

住 所

大阪府大阪市西淀川区歌島2丁目1番5号

氏 名

株式会社 ナノスコープ